

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LOCALIZAÇÃO DE USINAS TÉRMICAS

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA

HUGO ROGER STAMM

FLORIANÓPOLIS
SANTA CATARINA - BRASIL
NOVEMBRO - 1985

LOCALIZAÇÃO DE USINAS TÉRMICAS


HUGO ROGER STAMM

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE

MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E APROVADA EM SUA
FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO.

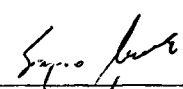


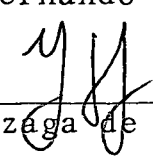
Prof. Luiz Gonzaga de Souza Fonseca, D.Sc.
ORIENTADOR

Prof. Robert Wayne Samohyl, Ph.D.
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção

BANCA EXAMINADORA



Prof. Antônio Sérgio Coelho, M.Sc.

Prof. Sérgio Fernando Mayerle, M.Sc.

Prof. Luiz Gonzaga de Souza Fonseca, D.Sc.

0.255.924-6

UFSC-BU

À todos aqueles que me ajudaram
direta ou indiretamente, princi
palmente meus pais Acyr e Theo-
dora e minha esposa Ana.

A G R A D E C I M E N T O S

Ao professor Luís Gonzaga de Souza Fonseca, orientador e amigo, que ajudou com seu conhecimento e paciência durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao professor Clóvis Sperb Barcellos pela sua fundamental ajuda na elaboração da programação do Algoritmo de Dijkstra.

R E S U M O

Neste trabalho é desenvolvida uma metodologia para solução do problema de localização de usinas termelétricas a carvão.

Considerando-se os aspectos econômicos, de restrição ambiental, os relativos às condições necessárias para implantação de usinas termelétricas e o grande número de itens a analisar, o problema de localização das unidades torna-se uma questão complexa. Assim, dado um conjunto de sítios possíveis, diferentes esquemas de suprimento de combustível e seu transporte até o local de consumo, diferentes tipos de obras civis, várias condições de suprimento de água e diferentes esquemas de integração elétrica ao sistema de geração e transmissão, é proposta uma solução para o problema de localização de usinas termelétricas.

Supondo-se fornecido o programa de obras de geração e a localização das usinas hidráulicas, é proposto e implementado um algoritmo baseado na teoria de busca de caminhos em grafos, cujo resultado informa a ordem de implantação das usinas, seus locais e suas respectivas configurações. Como resultado, obtém-se um programa de ampliações de usinas termelétricas a carvão, dentro de um parque gerador, sendo que o investimento necessário para a sua ampliação é mínimo perante todas as outras alternativas possíveis.

A B S T R A C T

A procedure for sitting thermoelectric power plants is proposed in the present work.

Considering that the economic aspects, enviromental restrictions, aspects concerning the necessary conditions for erection of thermoelectric power plants and the great number of items to be taken into account, the units sitting problem becomes a rather complex matter of decision. Thus, given an admissible site group, water availability, different transport means, different mines, civil works, different generation systems and electric transmission integration schemes it is here proposed a method for solving the thermoelectric power plants sitting problem.

The proposed procedure, which makes use of the graph theory, assumes a given schedule of generation works and given hydroelectric power plant location and has as output the constructions sequence, sites and configuration of each power plant. So, the result furnishes a thermoelectric expansion program, within a generation system and the cost minimization among all feasibles alternatives.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	1
2. SISTEMA ELÉTRICO	4
2.1. Introdução	4
2.2. Usinas Térmicas - Processo	5
2.3. Características da Localização de Usinas Térmicas ..	7
3. LOCALIZAÇÃO	8
3.1. Processo de Seleção dos Locais Viáveis	8
3.2. Proposições Básicas	11
3.3. Parâmetros Relevantes	13
3.3.1. Mercado	13
3.3.2. Combustível	16
3.3.3. Transporte	20
3.3.4. Suprimento de Água	27
3.3.5. Terreno	33
3.3.6. Sistema de Transmissão	34
3.3.7. Meio Ambiente	36
3.4. Conclusão	41
4. SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE USINAS TÉRMICAS A CARVÃO	42
4.1. Considerações Preliminares	42
4.2. Formulação do Problema	43
4.3. Solução do Problema	43
4.3.1. Modelagem do Problema Segundo um Grafo	44
4.3.2. Técnica de Solução	47

	Pág.
4.4. Sistema Computacional	49
4.4.1. Dados de Entrada	50
4.4.2. Descrição do Sistema	51
4.4.3. Relatórios de Saída	53
4.5. Conclusão	53
5. EXEMPLO	55
5.1. Introdução	55
5.2. Dados do Problema	56
5.3. Solução e Análise do Resultado	60
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	65
6.1. Conclusões	65
6.2. Recomendações para Futuros Trabalhos	66
APÊNDICE A - CONCEITOS E DEFINIÇÕES DA TEORIA DE GRAFOS ...	67
APÊNDICE B - ALGORÍTMO DE DIJKSTRA	70
APÊNDICE C - FLUXOGRAMAS	73
APÊNDICE D - CONFIGURAÇÕES E LISTAS ABERTA E FECHADA	79
BIBLIOGRAFIA	104

1. INTRODUÇÃO.

O constante crescimento do consumo da energia acarreta a necessidade de expansão das fontes geradoras, de modo que a oferta seja sempre suficiente para atender o mercado. Entre as diversas formas de energia, a energia elétrica tem como características principais a facilidade de geração, de transformação em outras formas e de transporte. Para sua geração é necessária uma fonte de energia mecânica que, transmitida a um eixo, provoca rotação. A este eixo pode-se acoplar um gerador que gera energia elétrica em quantidade dependente da potência mecânica aplicada, com tensão e corrente dependentes da construção e excitação do gerador e com frequência dependente da construção e da velocidade de rotação do eixo.

A energia mecânica necessária para aplicação no eixo do gerador pode ser obtida, entre outras maneiras, de turbinas acionadas a partir de um fluxo de água ou de vapor. No primeiro caso utilizam-se as quedas d'água que podem ocorrer em rios que correm em relevos acidentados. Neste caso as usinas são construídas nos locais favoráveis e, em geral, podem se situar longe dos centros de consumo. Sua potência final dependerá da vazão do rio e da altura da queda. No segundo caso, o vapor para acionamento da turbina para geração de energia mecânica pode ser obtido a partir da queima de combustíveis em uma caldeira ou a partir de energia solar ou nuclear. Entre os combustíveis que podem ser queimados destacam-se, no Brasil, o carvão e derivados de petróleo. Considerando-se os problemas e custos associados ao petróleo e considerando-se a ocorrência e características do carvão brasileiro, tem-se dado atenção à geração de energia elétrica a partir do carvão, de forma complementar à hidroeletricidade, na região sul do Brasil.

Neste sentido, a operação das usinas térmicas tem sido programada de modo a serem intensivamente usadas em períodos críticos de afluência hidráulica e com utilização mínima em períodos de afluência hidráulica favorável.

Recentemente, decisões a nível de governo levaram a compromissos de aquisição de novas unidades geradoras a carvão, a serem implantadas na região sul do Brasil.

Supondo-se, então, definidas a expansão do parque térmico e as datas em que as unidades deverão entrar em operação, deve ser considerado o problema relativo à localização destas unidades, tomando-se em conta, entre outros fatores, a localização dos consumidores, das minas de carvão e dos sítios que reúnem as condições necessárias para construção de usinas térmicas.

Esta questão tem sido analisada e os procedimentos existentes em geral baseiam-se em análises qualitativas, função da ponderação dos fatores influentes [12, 13], com critérios um tanto subjetivos. Critérios mais objetivos [15, 21] fazem considerações econômicas avaliando-se os custos de opções previamente selecionadas e adotando-se a de menor custo. Outros trabalhos [14] enfocam com maior relevância o problema associado às usinas nucleares, usando metodologias semelhantes.

Considerando-se as características do parque gerador de energia brasileiro, supondo-se definidas a expansão do mercado consumidor e a expansão do parque gerador com datas de entrada em operação para as unidades novas definidas, propõe-se neste trabalho um procedimento quantitativo para determinar a localização das novas unidades térmicas definidas no plano de expansão, conhecendo-se a disponibilidade de sítios viáveis, com o objetivo de obter uma solução ótima para este problema.

Será feito uso de um critério baseado no custo de expansão e operação das unidades, avaliado em função da localização dos sítios, das minas de carvão, do mercado consumidor, dos principais parâmetros que caracterizam o tipo de carvão utilizado, das unidades a serem implantadas, do transporte de carvão, entre outros.

Para isto, no capítulo 2, é feita uma apresentação geral considerando o sistema de potência, o funcionamento e as características de usinas a carvão. No capítulo 3 são descritos os

parâmetros relevantes para o problema da localização das usinas térmicas e no capítulo 4 apresenta-se a formulação de um modelo para o problema e o algoritmo para sua solução. No capítulo 5 apresenta-se um exemplo ilustrativo e, no capítulo 6, considerações gerais, conclusões finais e algumas sugestões para prosseguimento do trabalho.

2. SISTEMA ELÉTRICO.

2.1. INTRODUÇÃO

O sistema elétrico brasileiro é constituído basicamente por usinas hidrelétricas (aproximadamente 81%), localizadas principalmente nas bacias hidrográficas do sudeste. As usinas termelétricas são utilizadas, atualmente, para suprirem a demanda de localidades isoladas ou para complementarem o sistema hidrelétrico nos períodos secos e nas horas de maior consumo. Embora com uma participação relativamente pequena (aproximadamente 19%) no sistema, essas fontes são responsáveis pela maior parcela do custo de operação do parque gerador, sendo, dessa forma, de grande importância a escolha de uma política para sua utilização, além da consideração dos elementos que influem no custo, como é o caso da sua localização [22].

A função básica de um sistema elétrico é a garantia de suprimento de energia ao mercado sob quaisquer condições. O suprimento de energia ao sistema depende da variação da demanda. À sua variação, ao longo de um dado período dá-se o nome de curva de carga. Dessa forma a curva de carga fornece o comportamento do consumo de energia para uma região num período de tempo.

O critério básico utilizado para o planejamento da expansão do parque gerador de energia elétrica consiste em atender aos requisitos de mercado com níveis adequados de continuidade e qualidade de serviço, ao menor custo.

Do ponto de vista técnico, a qualidade do serviço de energia elétrica independe da composição do parque gerador, uma vez providas as reservas de geração necessárias ao sistema. O mesmo nível de garantia de atendimento pode ser proporcionado por um sistema puramente térmico, puramente hidráulico ou por qualquer combinação entre ambos. Em um sistema puramente térmico, a menor confiabilidade das máquinas é compensada por um nível maior de re

serva no sistema. Em um sistema hidrelétrico, a incerteza nas vazões dos rios é compensada pelo efeito regularizador dos reservatórios, pela interligação elétrica entre bacias de regimes diferentes e pela consideração das condições hidrológicas dos períodos mais secos.

Como o sistema elétrico da região sul utiliza os dois tipos de geração de energia, são realizados estudos de operação hidrotérmica para planejamento e determinação da entrada em operação das novas usinas térmicas e hidráulicas do sistema. Pode-se prever que o uso de energia hidrelétrica continuará em expansão com um contínuo aumento da participação termelétrica para suprir a demanda.

No futuro a geração térmica tende a tornar-se predominante, podendo-se prever duas alternativas [22]:

- Desenvolvimento baseado principalmente em centrais nucleares;
- Desenvolvimento baseado em parte nas centrais nucleares e em parte nas térmicas a carvão convencionais.

Neste trabalho é analisado o problema de localização de usinas termelétricas em virtude das numerosas possibilidades existentes de localização, do número de variáveis envolvidas no problema e também pela sua influência no custo operacional da usina.

2.2. USINAS TÉRMICAS - PROCESSO

O processo de geração termelétrica a carvão, consiste na transformação da energia química do combustível (carvão) em energia elétrica. Esta transformação não é direta e as energias térmica e mecânica aparecem como formas intermediárias nesse processo.

A energia química do carvão é transformada em energia

térmica através da combustão. O carvão fornece os elementos básicos promotores da reação exotérmica e o ar, o oxigênio necessário à reação.

A energia térmica liberada no processo de combustão é absorvida por um fluido (água), o qual é o veículo de transporte da mesma até a turbina que a transforma em energia mecânica que é convertida posteriormente em energia elétrica no alternador.

A reação de combustão e a transferência desta energia térmica liberada ao fluido que serve de veículo de transporte, se processa na caldeira. Durante a etapa de absorção da energia térmica, o fluido, no caso a água, passa por uma fase de mudança de estado, indo do líquido para o vapor e é neste estado que o mesmo percorre as tubulações que interligam a caldeira com a turbina, que está responsável pela transformação da energia térmica, contida no vapor, em energia mecânica de movimento.

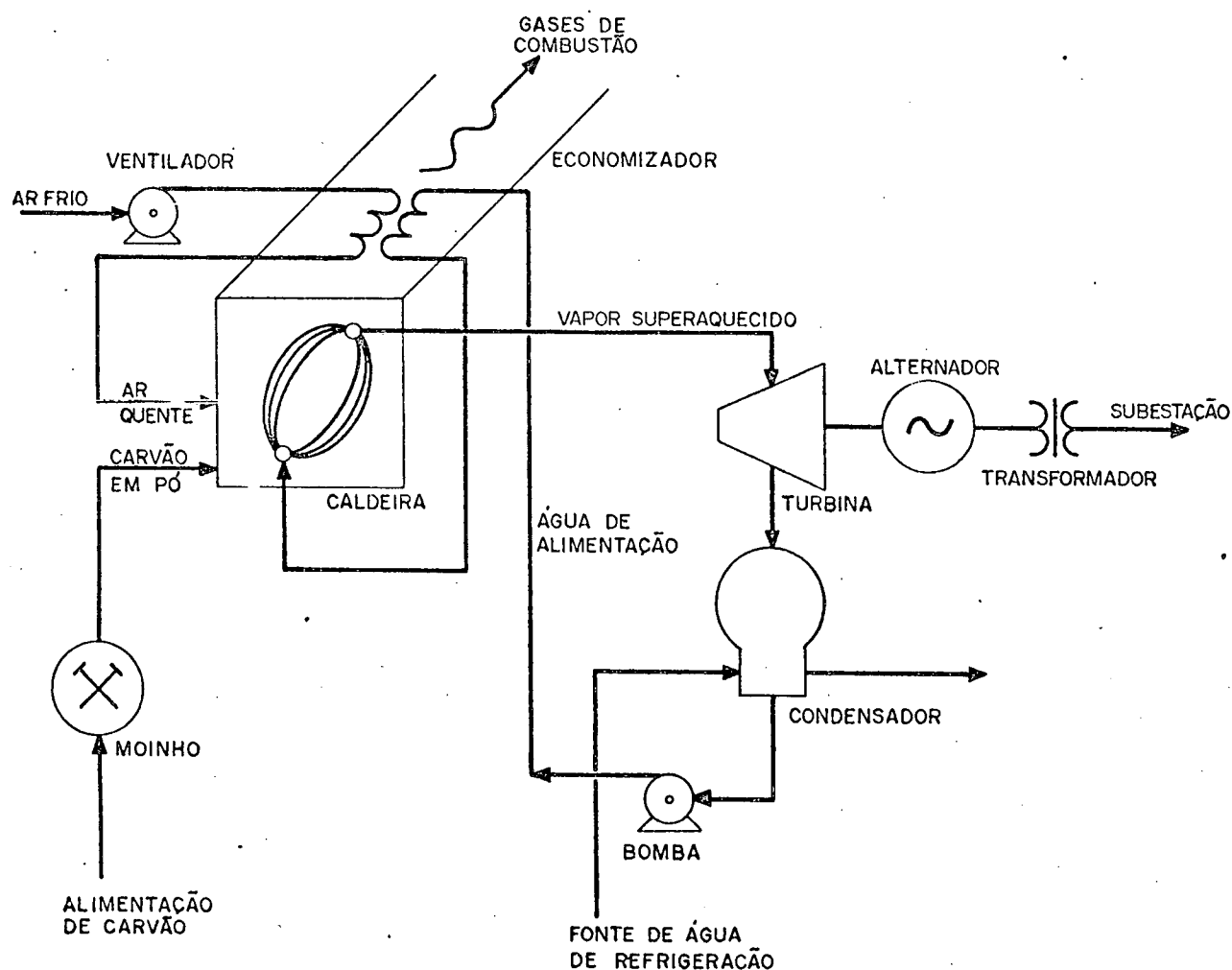


Figura 2.1 - Descrição do Processo

O fluído térmico exaurido pela turbina é novamente levado ao estado líquido em um trocador de calor, denominado condensador e novamente retorna à caldeira através dos sistemas de condensador e de água de alimentação.

2.3. CARACTERÍSTICAS DA LOCALIZAÇÃO DE USINAS TÉRMICAS

As usinas térmicas permitem uma relativa flexibilidade com respeito à localização, podendo ser instaladas: nas proximidades dos centros de carga, próximas as fontes de combustível ou em locais convenientes para a operação do sistema.

Genericamente o problema de localização de usinas térmicas é caracterizado pela tentativa de otimização global de diversos fatores que influem no processo, procurando-se uma situação de equilíbrio entre a maximização dos benefícios econômicos e técnicos associados ao empreendimento e a minimização do impacto social e ambiental.

A localização de uma usina em um determinado sítio deve levar em consideração se existem unidades já construídas ou não, se há água disponível para refrigeração ou se serão utilizadas torres de resfriamento, o tipo de transporte de combustível durante a vida útil, qual mina fornecerá o carvão e de que tipo, os aspectos inerentes ao terreno, as obras civis e o esquema de integração elétrica ao sistema.

Neste capítulo foram descritos o sistema elétrico, sua composição, função, forma de planejamento e composição futura, o processo de geração de energia elétrica através de usinas térmicas a carvão e finalmente as características da localização de usinas térmicas. No capítulo seguinte é apresentado o processo de seleção dos locais viáveis e um detalhamento da influência das variáveis na localização de usinas termelétricas a carvão.

3. LOCALIZAÇÃO.

3.1. PROCESSO DE SELEÇÃO DOS LOCAIS VIÁVEIS

Para enfocar os fatores envolvidos num processo de seleção de locais viáveis, ou sítios, para construção de usinas termelétricas, será apresentado uma metodologia geral proposta abaixo.

O processo de seleção dos sítios [21] pode ser dividido em cinco fases:

- Fase 1 - Identificação das regiões de interesse e das áreas candidatas, pertencentes às regiões.
- Fase 2 - Identificação do potencial dos sítios dentro das áreas candidatas.
- Fase 3 - Seleção dos sítios candidatos baseado numa comparação quantitativa do potencial dos sítios.
- Fase 4 - Seleção do sítio preferido através de uma evolução na análise de engenharia, meio ambiente e fatores econômicos.
- Fase 5 - Detalhamento dos parâmetros envolvidos na escolha do sítio preferido, com algumas alternativas, se necessário, para satisfazer critérios políticos, técnicos e de meio ambiente.

A sequência acima e informações adicionais necessárias são mostradas na figura 3.1.

Inicialmente, são pesquisadas regiões onde existem facilidades ou interesses para localização de sítios. Dentro das regiões existem áreas com maior probabilidade de possuir sítios, que devem ser analisados para identificação dos viáveis.

Existem vários tipos de análise para identificar áreas candidatas:

- 1) Seleção por preferência - As áreas candidatas são

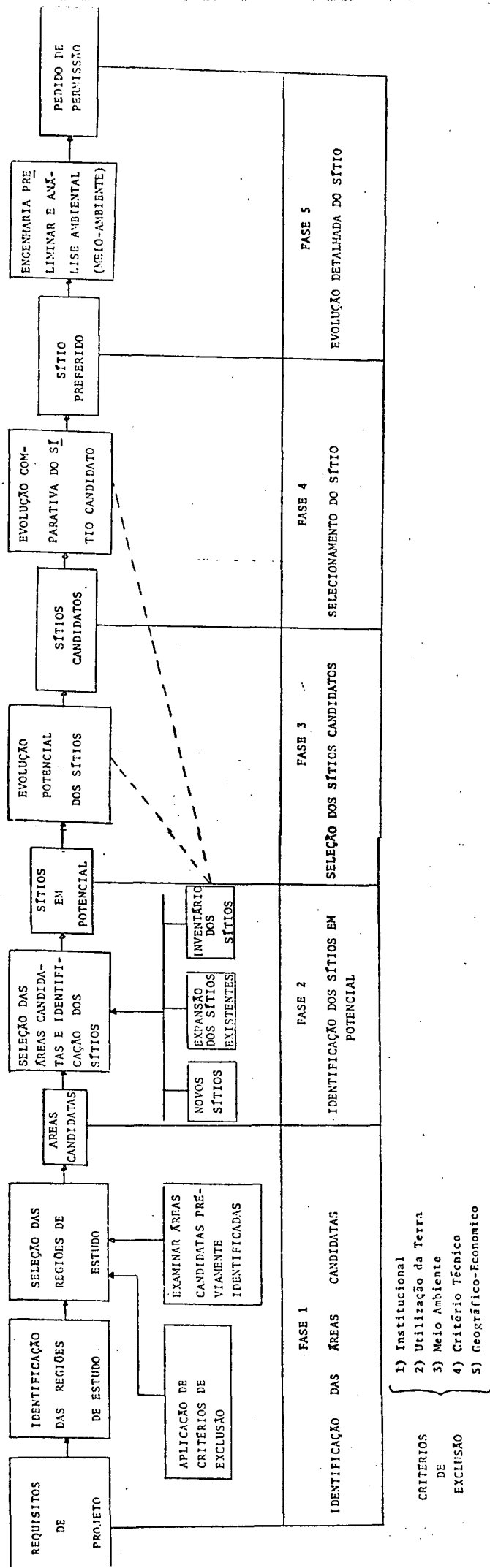


FIG. 3.1 - Processo para seleção de Sítios

selecionadas devido a existência de características ótimas ou, a alta probabilidade de conter sítios. A seleção é feita qualitativamente, baseada num julgamento profissional e pode ser muito subjetiva.

- 2) Seleção por exclusão - As áreas candidatas são aquelas que permanecem após a aplicação de um conjunto de critérios de exclusão na região de interesse.
- 3) Seleção por comparação - As áreas são classificadas em escala, indicando graus de aceitação em função de um ou mais critérios.

Para determinação dos sítios a serem analisados para estudos de localização, podem ser utilizados diversos tipos de abordagem:

- 1) Seleção por favorabilidade - Ocasionalmente um sítio tem um número de condições favoráveis acima da média. Neste caso, ele será detalhado preferencialmente.
- 2) Comparação qualitativa - Os critérios de localização são usados para cada sítio escolhido, sendo as decisões de caráter qualitativo.
- 3) Análise de custo efetivo - A escolha do sítio preferido é baseada em fatores técnico-econômicos. Deve ser avaliado o impacto no meio ambiente.
- 4) Classificação dos sítios - Um esquema de classificação é aplicado para os sítios candidatos, sua posição determina o sítio preferido. Não é um critério muito explícito.
- 5) Análise de decisão - Os parâmetros são determinados e evoluídos através de funções multi-atributas. Os riscos são avaliados através de probabilidade e a utilidade esperada é usada para classificação dos sítios candidatos.

Existem várias metodologias para a evolução dos estudos de localização de uma usina termelétrica, desde a escolha da re-

gião até a obtenção do local mais favorável. O presente trabalho apresenta algumas formas de abordagem para a escolha do sítio ótimo, dados vários sítios de áreas diferentes.

3.2. PROPOSIÇÕES BÁSICAS

A localização de usinas térmicas deve fundamentar-se nas seguintes proposições básicas:

- a) Disponibilidade de recursos alternativos e exame de sua competitividade.

Esta consideração tem como objetivo evitar a localização de usinas térmicas em áreas geográficas que dispõem, na mesma época, de recursos alternativos mais econômicos para atendimento ao mercado de sua área ou para fornecimento às regiões vizinhas. A localização de usinas térmicas nesta área implicaria em adiar o desenvolvimento destes recursos e em antecipar outros menos econômicos de outras áreas [1].

- b) Mercado de energia e de ponta, crescimento anual, centros de carga e respectivas curvas de carga.

A análise dos parâmetros do mercado objetiva verificar a viabilidade de absorção da geração térmica pelo sistema, considerando as características operacionais da usina.

O crescimento anual do mercado deve absorver a disponibilidade da térmica de forma a evitar capacidade ociosa nos primeiros anos de operação.

A região de localização da usina deve possuir algum centro de carga capaz de absorver a sua geração. Assim, a carga mínima deste centro de carga, ou seja, a demanda na madrugada dos dias úteis e dos fins de semana deve ser superior à quase totalidade da geração

térmica (computando-se também o fornecimento compulsório de outras fontes energéticas ao centro de carga), de forma a evitar inversões no fluxo diário no sistema de transmissão, aumento de perdas e redução da contribuição da térmica, se a usina térmica for de base. Às usinas de ponta, cabe suprir os picos de demanda conforme a disponibilidade das hidrelétricas e operar numa faixa econômica para a obtenção de rápidas respostas quando necessário.

c) Complementação térmica

Na operação das usinas térmicas para a complementação de geração, deve ser levado em conta a economia de combustível pela utilização de energia secundária que estaria sendo vertida nas usinas hidrelétricas. Este pode ser um parâmetro importante para análise na hipótese de elevado custo do combustível e diferentes energias secundárias nos sistemas em consideração.

d) Economia em investimentos e em perda de transmissão

As usinas térmicas devem se localizar próximas a um mercado capaz de absorver a sua geração, resultando em:

- Menor investimento em transmissão
- Menor perda de energia
- Aumento de confiabilidade

e) Características da construção: acesso do equipamento pesado, disponibilidade de água, geologia do local, densidade populacional e infra-estrutura de apoio.

Essas variáveis objetivam analisar as características da área ou do sítio propriamente dito, de forma a reduzir os custos de construção da usina.

- f) Dispersão de esforços de construção e operacionais motivada pela multiplicidade de locais e concessionárias envolvidas no programa térmico.

O objetivo é evitar a dispersão das equipes de projeto, construção e de operação de forma a maximizar as possibilidades de formação de "know-how".

3.3. PARÂMETROS RELEVANTES

A análise para localização de sítios envolve o exame de certos fatores que devem ser aprofundados à medida em que se apresentam mais promissores, de modo a se verificar o atendimento a todos os requisitos técnicos, econômicos e às normas vigentes.

3.3.1. Mercado [10]

O mercado deve ser levado em conta, pois, será ele o grande consumidor da energia gerada. Existem vários aspectos a serem analisados: tamanho, localização e natureza do mercado. Cada aspecto fornece informações, que juntas compõem o perfil do mercado quanto ao seu tipo de consumo de energia.

3.3.1.1. Tamanho do Mercado

Dentro de uma dada distribuição de recursos energéticos, o tamanho de um mercado de consumo constitui um fator relevante na decisão de, como e em que escala ocorrerá a exploração desses recursos. Os efeitos do tamanho do mercado são sentidos através dos custos de produção e transporte, que por sua vez são afetados pelas escalas de economia. Influenciando a escala de produção, o tamanho de um mercado afeta acentuadamente os custos de exploração de um recurso (ou seja, quanto maior a quantidade menor o custo).

Na realidade, técnicas modernas com frequência exigem que um mercado deva ter pelo menos um tamanho mínimo antes que um recurso energético possa ser explorado economicamente.

As economias de escala no transporte de energia são importantes para efeito de tamanho do mercado. Quanto maior o mercado, tanto maiores são as economias potenciais de transporte de energia, e tanto mais baixos os custos do combustível e energia.

Para regiões subdesenvolvidas onde não existem grandes centros de carga, à medida que seus mercados energéticos se expandem, modificam-se as oportunidades emergentes para exploração das economias de escala, tanto na produção como nos transportes, isto permite que os custos reais da energia caiam, o que por sua vez estimulará os mercados no sentido de crescerem ainda mais.

Outras modificações no tamanho do mercado merecem consideração. Algumas alterações são permanentes e decorrem do desenvolvimento técnico e econômico, outras são de natureza cíclica, tendo origem na natureza do crescimento econômico. Contudo, num terceiro grupo, as modificações são sazonais e tem suas raízes na natureza da demanda.

3.3.1.2. Localização do Mercado

Todos os demais fatores permanecendo iguais, os recursos energéticos mais próximos de um mercado serão utilizados para satisfazer suas demandas.

Em qualquer caso, a localização é sempre antes um fator relativo que absoluto. Os contrastes marcantes entre os modelos de consumo de energia de diferentes países, fundamentam-se nitidamente nas oportunidades oferecidas pelos seus diferentes recursos e a relação desses recursos com os mercados internos.

Além disso, os modelos geográficos do consumo de energia dentro de um país são fortemente influenciados pela distribuição regional dos recursos energéticos. Assim, modelos inteiramen

te contrastantes de utilização de energia, podem caracterizar diferentes regiões dentro de um país.

Um mercado próximo oferece um poderoso estímulo à exploração de um recurso energético, da mesma forma que uma considerável distância entre uma fonte de energia e um mercado potencial para ela, muitas vezes significa que a primeira fique temporária ou permanentemente não desenvolvida.

A distância de um mercado aos recursos energéticos influencia tanto os tipos como as quantidades de energia ali consumida. A relação espacial dos mercados com as rotas de transporte da energia também modifica o consumo da energia.

3.3.1.3. Natureza do Mercado [10]

As demandas de energia originam-se de três setores de uma economia: interno, industrial e de transportes. As proporções de cada um, variam de país para país. No mundo subdesenvolvido, apenas uma pequena percentagem da demanda total tem origem no setor industrial; a proporção de energia total utilizada no transporte é muito maior na América do Norte do que na Europa Ocidental; a quantidade relativa de energia consumida no setor interno de economias tropicais ou subtropicais é muitíssimo menor do que a empregada em seus símiles temperados.

Os mercados de energia nesses três setores de forma alguma são independentes, visto que o tamanho da demanda num único setor pode limitar a magnitude da demanda em qualquer um dos outros.

As demandas específicas também podem influenciar o modelo de consumo energético nos mercados locais e regionais. Isto é, os usos para os quais os recursos energéticos se acham disponíveis e que não podem pagar um elevado preço, se voltam para outras fontes de energia.

A curto prazo as demandas domésticas, industriais e de

transportes tendem a ser específicas, mas a longo prazo serão gerais, isto é, podem ser satisfeitas por uma ou várias fontes de energia.

Observa-se que a natureza do mercado de energia modifica-se continuamente em função da evolução das economias ou do progresso técnico.

3.3.1.4. O Mercado na Região Sul

A região sul caracteriza-se por um parque industrial desenvolvido e distribuído principalmente na faixa litorânea, predominando dois grandes centros: Porto Alegre e Curitiba. Existem pequenas indústrias espalhadas pelo interior mas não representam um considerável consumo localizado.

A agricultura é altamente desenvolvida, concentrando-se no interior. Há necessidade de suprir o mercado de energia das cidades centrais às regiões agrícolas, além de eletrificação rural para cooperativas e fazendas.

A parte de mercado referente a iluminação pública e casa não é relevante, exceto nos grandes centros.

3.3.2. Combustível

O combustível utilizado para geração de energia elétrica, depende dos recursos naturais disponíveis na região onde será localizada a usina, devendo ser abundante para garantir a operação da usina sob quaisquer condições de carga durante a sua vida útil. O custo de exploração e beneficiamento deve ser competitivo com o custo das outras fontes de energia elétrica. Sua tecnologia deve ser conhecida e preferencialmente de domínio da indústria nacional.

No Brasil pode-se dispor de: carvão, urânio, xisto e petróleo. A produção de petróleo não é suficiente para suprir as necessidades nacionais, obrigando o governo a importar grande quantidade deste combustível. A utilização do petróleo é dirigida para outros fins e seu custo elevado torna-o inviável para geração térmica. O xisto não tem tecnologia completamente desenvolvida para utilização em escala comercial. O urânio começa a ter um papel relevante como combustível energético, à medida em que elevam-se o número de usinas nucleares e aumenta a tecnologia de obtenção do urânio como combustível. O carvão devido a suas reservas, a existência de usinas em operação utilizando este combustível na região e seu custo de exploração e beneficiamento, deverá ser, preferencialmente o recurso energético escolhido.

3.3.2.1. O Carvão

O carvão poderá vir a ser uma das principais fontes de energia para muitos países. Teoricamente o volume das reservas torna possível aumentar consideravelmente a sua produção. As reservas provadas mundiais de carvão são de aproximadamente 700 bilhões de toneladas ou 3.000 bilhões de barris equivalentes de petróleo. As principais reservas encontram-se nos Estados Unidos, Rússia e China com 60% da produção mundial [20].

Embora universalmente reconhecido como um recurso energético de grande importância, o carvão mineral no Brasil tem ainda utilização bastante restrita.

Entre os fatores que restringiram a utilização mais intensa do carvão brasileiro destacam-se:

- principais reservas localizadas na região sul do país, relativamente afastadas das principais regiões industrializadas;
- qualidade precária quando comparada com padrões internacionais, apresentando elevados teores de cinzas; e

- necessidade de desenvolvimento de tecnologia adequada às suas características, exigindo investimentos em pesquisa.

Com o advento da "crise do petróleo", a acentuada elevação nos seus preços e a consciência da instabilidade de seu suprimento, despertaram a preocupação mundial no sentido de ser buscada a utilização racional de outras fontes de energia. Dentro desse novo quadro, o carvão mineral brasileiro assumiu um novo papel econômico e estratégico no país.

O objetivo inicial é de substituir a utilização de derivados de petróleo, a curto prazo, diminuindo a dependência externa.

3.3.2.2. O Carvão na Região Sul

No Brasil o carvão mineral responde por 75,8% das reservas energéticas não renováveis do país, são 21 bilhões de toneladas. A produção anual mal atinge 4,8 milhões de toneladas, o que equivale a 5,4% da energia primária em uso [1].

Tratando-se da maior reserva energética não renovável, o carvão mineral deverá ter significativa participação na mudança da estrutura de consumo de energia primária.

As regiões mais favoráveis ao aparecimento do carvão estão na bacia sedimentar do Paraná (atravessam os três estados do sul e alcançam São Paulo, vale do rio Paraíba, reaparecendo depois no estado de Mato Grosso do Sul), na bacia do Parnaíba, no nordeste e na bacia amazônica. Os carvões situados na primeira bacia são os que se encontram atualmente em exploração, respondendo por todo o suprimento nacional. No exame da região, porém, fica claro que as reservas são muito menores que as encontradas nos grandes países produtores. Além disso, é curioso notar que as reservas medidas representam muito pouco do total, numa indicação do grau de incerteza que cercam estas informações.

Para fins de geração de energia elétrica são consideradas apenas parte das reservas do Rio Grande do Sul e as de Santa

Catarina. As demais, quer pelo seu pequeno porte, quer pelo seu alto custo de extração e possibilidades de beneficiamento, podem ser consideradas como tendo vocação para outras finalidades.

Admitindo-se uma vida útil de 30 anos para as usinas termelétricas e um fator de capacidade médio de 60% para estas usinas, estima-se a possibilidade de serem instalados cerca de 26.000 MW em termelétricas a carvão no país [2].

As reservas de carvão brasileiras divulgadas pela imprensa nem sempre dão conta das reservas realmente recuperáveis e portanto econômicas. Mesmo que se chegue a exploração econômica de uma jazida, a parte aproveitável será substancialmente inferior às reservas geológicas devido as perdas, geometria da mina, recuperação na lavra e perdas na lavagem.

Além disso, em sua imensa maioria as minas brasileiras são pequenas e pobres em termos de técnica e de projeto. Apenas mais recentemente começaram a ter lugar no país minas projetadas de acordo com todos os requisitos técnicos e com um maior grau de profissionalismo no projeto. As dificuldades na maioria das vezes são conseqüências do fato da indústria carvoeira ainda dar lugar a uma estrutura familiar em que prevalece a visão de curto prazo. O quadro é difícil também quanto ao beneficiamento. É irrisório o número de lavadores instalados e fracos os resultados que eles conseguem em termos de recuperação do carvão de boa qualidade. Circunstâncias tanto mais lamentáveis quando se sabe que a tecnologia de beneficiamento existente no país é respeitada internacionalmente [17].

O carvão encontra-se na natureza de duas principais formas: minas de subsolo ou minas a céu aberto.

As minas de subsolo necessitam equipamentos altamente sofisticados para sua exploração e seu grau de dificuldade aumenta à medida que aumenta a profundidade das minas.

As minas a céu aberto encontram forte oposição por grupos de defesa do ambiente e interesses agrícolas locais. As objeções mais importantes são os danos causados à terra e os efeitos econômicos e sociais indesejáveis em uma região rural ou agrícola. Existe uma tentativa de demonstrar que é possível executar as ope-

rações de mineração de forma aceitável e recuperar as terras de superfície. As companhias de mineração estão convencidas de que isto pode ser conseguido por um custo razoável em comparação com o valor do carvão produzido. Se a aceitabilidade desses programas de recuperação for demonstrada, as preocupações com o meio ambiente não deverão afetar de forma significativa a abertura de novas minas de carvão [20].

3.3.3. Transporte

O transporte pode ser analisado sob dois pontos de vista: transportar o combustível da mina à usina e/ou transportar a energia da usina ao mercado consumidor. É necessário fazer-se um balanço entre eles para otimização da solução.

Os custos do transporte variam conforme o tipo, o material a ser transportado e a distância.

Neste tópico será abordado o transporte do combustível, ficando o transporte de energia para o item Sistema de Transmissão.

O sistema de transporte deve ser projetado para fornecer a quantidade de combustível necessária para o funcionamento a plena carga da usina.

Uma extensa variedade de métodos alternativos pode ser utilizada para transportar o combustível das minas para a usina.

Para selecionar o método de transporte menos oneroso, devem ser avaliados alguns pontos abaixo relacionados:

- deve ser previsto uma estocagem de combustível, visando atender falhas inesperadas, tanto na operação das minas como no sistema de transporte de combustível; e
- a entrega de carvão deve ser feita de maneira constante. Durante períodos de baixa demanda o combustível entregue será armazenado, enquanto durante os períodos de demanda de pico o carvão será removido do estoque para ser utilizado. O carvão será estocado em pilhas

que deverão ser inspecionadas para prevenir combustão espontânea.

3.3.3.1. Transporte Rodoviário

O meio de transporte é o caminhão. Sua economia baseia-se numa proporção relativamente pequena de investimento de capital, descarga não dispendiosa e elevadas despesas por tonelada-quilômetro. Quando se transportam quantidades relativamente pequenas de energia e as distâncias são curtas, o transporte rodoviário constitui, invariavelmente, a forma mais econômica de transporte. O impacto dessa modalidade de transporte seria ainda maior se o custo dos combustíveis não fosse tão elevado.

Na movimentação dos combustíveis o custo não constitui o único fator que determina se uma forma particular de transporte é utilizada ou não. Uma vantagem do transporte rodoviário é a velocidade, pois ele pode muitas vezes entregar o combustível com maior rapidez do que as ferrovias, cujas cargas freqüentemente são retardadas por operações de manobra. Outra vantagem é o seu alto grau de flexibilidade de rota. Por rodovia, o combustível pode ser transportado diretamente de uma mina para uma usina. Realmente, na fase final da entrega de energia ao seu mercado, o transporte por estrada de rodagem é muitas vezes a única forma disponível. O resultado é que os transportadores rodoviários vem firmemente obtendo os tradicionais fluxos de energia das estradas de ferro. O emprego crescente dessa modalidade de transporte para o carvão parece girar em torno de dois itens principais. Primeiro, a idade, tamanho e natureza das minas, e segundo, a localização e o tamanho do mercado. Os proprietários de minas novas, em contraste, nem sempre estão preparados para investir num ramal ferroviário e mostram a tendência de confiar mais no transporte rodoviário. Ao mesmo tempo, um investimento em instalações ferroviárias oferece mais vantagens às minas maiores do que às menores, visto que as economias de escala são maiores do que as do transporte rodoviário. Como resultado as pequenas minas tendem a despachar seu carvão preferentemente por rodovia do que por via férrea. O contraste entre a mineração a céu aberto e a profunda também traz

em si diferenças em preferências por meios de transporte, pois a natureza migratória da primeira estimula o emprego de caminhões, enquanto a natureza fixa da mineração profunda presta-se melhor ao emprego de uma ferrovia. A situação pode ser apresentada em linhas gerais da seguinte forma: um grande consumidor, com uma demanda firme e situado nas adjacências de uma linha férrea, é mais convenientemente suprido por estrada de ferro, porém um pequeno consumidor, localizado longe de uma ferrovia e adquirindo quantidades irregulares de carvão, é mais economicamente servido por transporte rodoviário.

3.3.3.2. Transporte Ferroviário

Nenhum outro meio de transporte de combustível vem se de^{de}frontando com tal depreciação do seu valor do que a ferrovia. Já em muitos lugares o transporte rodoviário fez sentir os seus efeitos no tráfego a curta e média distância. O custo de transporte de energia acha-se arraigado na natureza das estruturas de frete-tarifa ferroviária. A diferença com relação a maioria de outros meios utilizados para o transporte de energia e que geralmente se interessam em transportar apenas uma mercadoria (ou um grupo), as ferrovias podem transportar quaisquer cargas que se lhes apresentem. Devem providenciar as suas tarifas de tal forma que equacionem sua receita total com o custo total de fornecimento de todos os seus serviços, e, se possível, auferir algum lucro. O preço do embarque de qualquer mercadoria fica ligado à economia do sistema de transportes como um todo, exceto se todo o complexo ferroviário for construído em função do transporte de combustível. Ao fixarem as tarifas, as administrações ferroviárias procedem a avaliações do que seus clientes estão dispostos a pagar e dessa forma procuram estimular ao máximo a utilização dos seus meios. É em parte por esse motivo que as tarifas ferroviárias por tonelada-quilômetro tendem a ser baixas com referência a mercadorias de baixo valor a granel e elevadas no tocante a artigos valiosos. As tarifas ferroviárias variam também com a regularidade dos embarques, com as distâncias, com o terreno a ser percorrido, com o volume da consignação e com a concorrência oferecida por outros

meios de transporte.

Não obstante, certas generalizações são possíveis no tocante às tarifas para o transporte de energia por estrada de ferro. Primeiramente os preços por tonelada-quilômetro para os embarques de energia por via férrea são muito inferiores aos referentes a maior parte das mercadorias. Em segundo lugar numa ampla variedade de distâncias, as ferrovias, de modo geral, estão em condições de oferecer tarifas altamente competitivas para o transporte do carvão em particular. Em distâncias muito pequenas e mais especialmente no que diz respeito a toneladas relativamente pequenas, o transporte ferroviário é, geralmente, mais dispendioso do que o transporte rodoviário. Contudo, o custo mais elevado deste último tipo de transporte significa que, embora suas baixas despesas de carregamento lhe concedam vantagem inicial, seus custos por tonelada-quilômetro elevam-se rapidamente com o aumento das distâncias até que, finalmente os custos totais ultrapassam os das ferrovias. Muitas tarifas atuais relativas à movimentação do carvão nos países economicamente desenvolvidos originam-se de um período em que as ferrovias dominavam as movimentações de mercadorias e passageiros. Mas com o crescimento do transporte rodoviário e aéreo, começaram a perder considerável proporção dos seus fretes mais variáveis e estão ficando em volume cada vez maior com o transporte a longa distância de tais artigos a granel como o minério de ferro e carvão.

O resultado é que, a não ser que aconteça uma forte subvenção no futuro, suas cargas remanescentes, tais como o carvão, terão que suportar uma parcela crescente das suas despesas de capital. Isso, por sua vez, acarretará a necessidade de um aumento das suas tarifas por tonelada-quilômetro, reduzirá a extensão da sua concorrência efetiva no tocante ao tráfego e, em última análise, acelerará sua perda de fretes.

Por outro lado, consideráveis melhorias da sua eficiência geral e desenvolvimento do manuseio mecânico são capazes de tornar a estrada de ferro um meio mais competitivo de transporte de combustível.

3.3.3.3. Transporte Hidroviário

Navios e barcas constituem, indubitavelmente, o meio mais barato de transporte descontínuo. Os baixos custos do transporte marítimo acham-se enraizados nos custos de capital relativamente baixos dos navios de alto mar em função da sua capacidade em tonelada-quilômetro.

As economias de escala possíveis no transporte marítimo podem ser analisadas pelo seu custo. O progresso tecnológico permite agora a construção de navios com elevada capacidade, obtendo-se grandes economias. A partir de 1914 houve uma redução do comércio marítimo de longa distância, não se verificando o mesmo grau de aperfeiçoamento técnico nos barcos carvoeiros de alto mar, em confronto com o ocorrido aos petroleiros nos últimos anos.

Os custos do transporte hidroviário, portanto, variam com a escala da operação. Isto limita a validade de qualquer tentativa de comparar os custos de movimentar o combustível por mar com meios alternativos. A taxa real cobrada por um armador não é, necessariamente, um reflexo direto dos custos ligados ao embarque de uma determinada carga de carvão ou petróleo. Por certo, em última análise, o armador espera auferir lucro e, portanto, suas tarifas terão alguma relação com sua programação a longo prazo. Mas a curto prazo, suas tarifas estarão relacionadas com sua apreciação da quantidade de carregamento que não é embarcado em confronto com a tonelagem de navios que ele sabe achar-se disponível para transportá-lo, isto é, de acordo com as suas expectativas do mercado. Nessas condições, as tarifas de transporte por água estão sujeitas a consideráveis flutuações. Poderão elevar-se a um nível em que o armador aufera lucros amplos para cobrir os seus custos operacionais e de capital, mas também podem cair a um nível em que a receita seja igual ao contrato de fretamento de um navio.

As tarifas do transporte aquático flutuam com a oferta, a procura de tonelagem disponível e com a natureza do contrato de fretamento.

A vantagem da baixa taxa de frete por tonelada-quilômetro merece ressaltos. Primeiramente, o custo de capital do transporte aquático é relativamente baixo, representando apenas cerca

de 20% do custo total de uma viagem marítima[10]. Isso constitui uma proporção muito menor do que para o carboduto, por exemplo. Os outros 80% consistem em custos operacionais de mão-de-obra, combustível e reparos, representando o primeiro destes três cerca de 30% das despesas totais de uma operação de transporte. Essas cifras são altamente significativas, pois com os custos da mão-de-obra tendendo a elevar-se rapidamente na última década, algumas das economias resultantes do melhor traçado dos navios e maior tamanho foram anuladas pelos crescentes custos operacionais. Em contraste os carbodutos apresentam uma proporção muito menor nos custos operacionais. Uma segunda desvantagem do transporte aquático é que os navios são, geralmente, projetados para o transporte de apenas uma mercadoria, daí resultando que a viagem de retorno, com frequência tem de ser feita com lastro. Há algumas exceções a essa generalização no caso tanto de petroleiros como de carvoeiros. Ocasionalmente as circunstâncias permitem o embarque de um produto em uma direção e o retorno de outro produto.

Quando um mercado não tem acesso ao mar, os custos de transporte elevam-se não somente pelo alto custo de manuseio no ponto de transferência de parte da carga, mas também pela necessidade de utilizar uma forma alternativa de transporte para a última fase da viagem, e, invariavelmente os custos por tonelada-quilômetro de um curto percurso são elevados.

As características do transporte de combustível por aqua vias internas são comparáveis às do transporte marítimo, com as duas significativas exceções de que a sua flexibilidade de rota é limitada pela disponibilidade de vias aquáticas e suas economias de escala vêm-se restringidas por fatores tais como a profundidade dos rios ou a capacidade das eclusas. Apesar dessas limitações, o transporte pelas aquavias do interior é ainda invariavelmente mais barato do que o ferroviário ou rodoviário.

Para outros países, existe o problema de congelamento durante parte do ano. Em consequência, os modelos sazonais de movimentação do carvão desenvolvem-se pelas aquavias quando disponíveis e pelas ferrovias ou rodovias no inverno.

3.3.3.4. Carboduto

Consiste de uma tubulação intercalada com estações de bombeamento, conforme o material e a distância, que transporta o combustível da mina ou de um porto (para sistemas mistos), até o seu local de utilização.

Os carbodutos apresentam certa inflexibilidade em seus trajetos, suas capacidades e o tipo de material a transportar. Essas desvantagens, são superadas pelo fato de que sob certas condições ideais, os carbodutos oferecem uma forma de transporte mais em conta do que outros competidores. Dado um mercado grande e firme (alto fator de carga), os carbodutos podem superar economicamente as outras formas de transporte. O custo real de transporte por carboduto varia com as condições físicas do projeto. A instalação e os custos operacionais são influenciados pelo tamanho, a pressão e a distância que se processa o transporte e a eficiência com que são utilizados.

A primeira característica dos carbodutos é que o investimento inicial é muito grande. Isto sugere que deve funcionar sempre com a capacidade máxima, se isso não ocorrer resulta num considerável aumento do custo do transporte.

A segunda característica é a excepcional economia que se pode alcançar através da transmissão em larga escala, visto que a capacidade de um carboduto aumenta mais rapidamente com seu diâmetro do que o investimento necessário.

A terceira e última característica dos carbodutos é que os custos de transporte dependem do tipo de material a ser transportado.

3.3.3.5. O Transporte na Região Sul

A região sul é muito bem servida na área de transporte em relação às outras regiões do Brasil.

Entre todos os meios, o predominante para transporte de carvão é o ferroviário. O combustível utilizado é o próprio car-

vão. Os ramais ferroviários, entre as minas e os pontos de abastecimento, foram construídos há algumas décadas, necessitando de manutenção e modernização para otimizar e diminuir o custo do transporte.

O transporte rodoviário, apesar de ser o meio que oferece melhores condições, tem como agravante o custo do combustível e sua utilização elevaria sobremaneira o custo da energia.

Quanto as hidrovias, devido a falta de rios navegáveis entre as minas e os pontos de abastecimento e a distância de fornecimento não compatibilizar com o transporte marítimo, seu uso não é analisado.

O caroduto ainda é um meio de transporte pouco utilizado no Brasil, não existindo portanto o controle nacional de sua tecnologia e seu alto investimento inicial torna-o proibitivo.

3.3.4. Suprimento de Água

Um dos fatores mais importantes na escolha do local para a implantação de uma termelétrica é a disponibilidade de água para refrigeração, processo e transporte de cinzas.

A importância da disponibilidade de água é devido aos custos envolvidos na sua implantação e operação. A quantidade de água requerida para a utilização em uma usina, varia com a potência da unidade.

O suprimento de água para refrigeração de uma termelétrica pode ser em circuito aberto, fechado ou misto. Na alternativa de refrigeração em circuito aberto, normalmente utilizado onde há abundância de água, a captação pode ser feita em rios, lagos ou no mar. A refrigeração em circuito fechado, utilizada onde a disponibilidade de água é limitada, é feita fundamentalmente com o emprego de torres de refrigeração. Foram desenvolvidas tecnologias apropriadas para áreas onde a água é escassa ou sua utilização é dirigida para outros meios de produção.

Os sistemas de refrigeração disponíveis e mais adotados no mundo, atualmente, são os seguintes [16] :

- Sistema direto (mar ou rios).
- Lagos de resfriamento (naturais ou artificiais).
- Torres de refrigeração de tiragem mecânica.
- Torres de refrigeração de tiragem natural.

Tomando como base o sistema direto como sendo o mais econômico, mais simples e de melhor rendimento, considera-se para comparação, os lagos naturais e torres de tiragem mecânica e natural, eliminando os lagos artificiais, este último sendo usado somente em regiões secas ou com baixo índice pluviométrico.

3.3.4.1 Sistema Direto [16]

É o mais simples, econômico e com mínima perda de água. A dificuldade consiste em encontrar fora do litoral, sítios com suficiente disponibilidade de água. Principalmente para os rios, deve ser levado em conta que a captação é feita antes da saída ou retorno da água, devido a temperatura na saída ser maior que a da entrada, diminuindo assim sua capacidade de refrigeração. O arranjo dos equipamentos são feitos de maneira a levar em conta essas limitações.

3.3.4.2. Lagos de Resfriamento [16]

a) Naturais

Acompanham a descrição do sistema direto, O fator de maior importância é a distribuição dos equipamentos envolvidos na captação e retorno da água de maneira a minimizar o efeito do aumento de temperatura.

b) Artificiais

Os custos de construção são razoáveis onde a topografia e o subsolo permitem; operam por períodos relativamente longos sem reposição e as perdas devido à evaporação são compensadas pelas chuvas ou por vazão afluente dos rios.

As desvantagens desses sistemas encontram-se na grande área necessária para o lago e na tendência ao aumento da concentração de impurezas dissolvidas na água, requerendo um controle.

3.3.4.3. Torres de Refrigeração de Tiragem Mecânica

As torres de refrigeração consistem de um corpo fechado lateralmente, que pode ser de chapas de aço ou concreto, com tubulações distribuídas estrategicamente em seu perímetro, visando obter o máximo rendimento durante a troca térmica. A água do interior das tubulações encontra-se num circuito fechado. Existe uma reserva para perdas por evaporação. O fluxo de ar entra na parte inferior e sai na superior (Figura 3.2).

O princípio de funcionamento das torres de tiragem mecânica é por convecção forçada. Dispõem de ventilador (es) para imprimir velocidade ao fluxo de ar e podem ser:

- Tiragem Induzida - Quando o ventilador retira o ar da torre.
- Tiragem Forçada - Quando o ventilador insufla ar para o interior da torre.

As torres de tiragem mecânica permitem um controle sobre o fluxo de ar, controle sobre a temperatura fria da água, uma altura de bombeamento da água relativamente baixa e baixo investimento de capital relativamente à torre de tiragem natural. Além disso comparativamente aos sistemas diretos consome apenas 2 a 5% da água necessária e existe experiência de construção nacional.

As desvantagens desse sistema são devido a falhas mecânicas (vibrações, corrosão, etc), recirculação do ar úmido da saída,

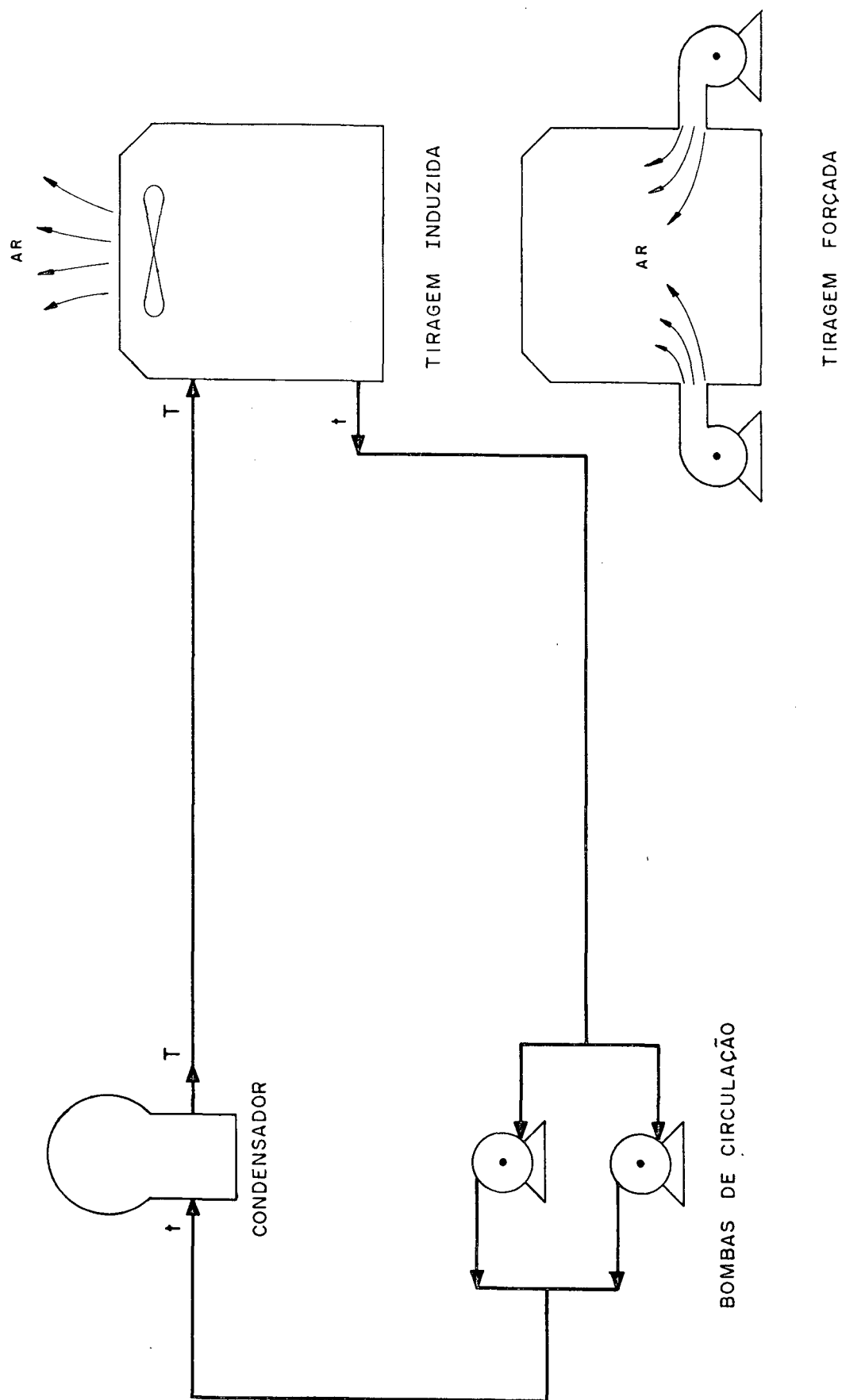


Fig. 3.2 - Torre de Refrigeração de Tiragem Mecânica

elevados custos de operação e manutenção, altas perdas por evaporação (2 a 5% da circulação total), tendência a concentração de sólidos dissolvidos, requer freqüentes sangramentos da água de refrigeração (2 a 8% da circulação), necessita cerca de 50% mais espaço que as torres de tiragem natural.

3.3.4.4. Torres de Refrigeração de Tiragem Natural

O princípio de funcionamento é baseado na convecção natural. Nas torres de tiragem natural, cilíndricas ou hiperbólicas, o fluxo de ar depende basicamente da sua altura. Para empreendimentos de grande porte como é o caso das usinas a vapor, atualmente são usadas exclusivamente torres hiperbólicas (Figura 3.3).

As vantagens apresentadas para a utilização deste tipo de sistema é a maior eficiência nas regiões onde prevalece alta umidade relativa do ar, não tem componentes mecânicos e elétricos, os custos de manutenção são baixos, excelente confiabilidade, ocupa menor área, a dispersão do vapor ocorre em elevada altitude eliminando os problemas de formação de neblina e perda de eficiência por recirculação.

Os fatores contrários à utilização deste sistema são relativos a grande altura necessária, difícil controle da temperatura da água fria, perdas elevadas por evaporação, grandes dimensões necessitando de fundações caras, investimento 60% maior do que as torres de circulação forçada, não existe tecnologia nacional e exige manutenção no concreto da parede interna.

3.3.4.5. Suprimento de Água na Região Sul

Na região sul encontram-se rios de pequeno, médio e grande porte, mas, mais precisamente nas regiões onde a probabilidade de localizar usinas térmicas é maior, os rios podem ser considerados, salvo alguma exceção, de pequeno porte.

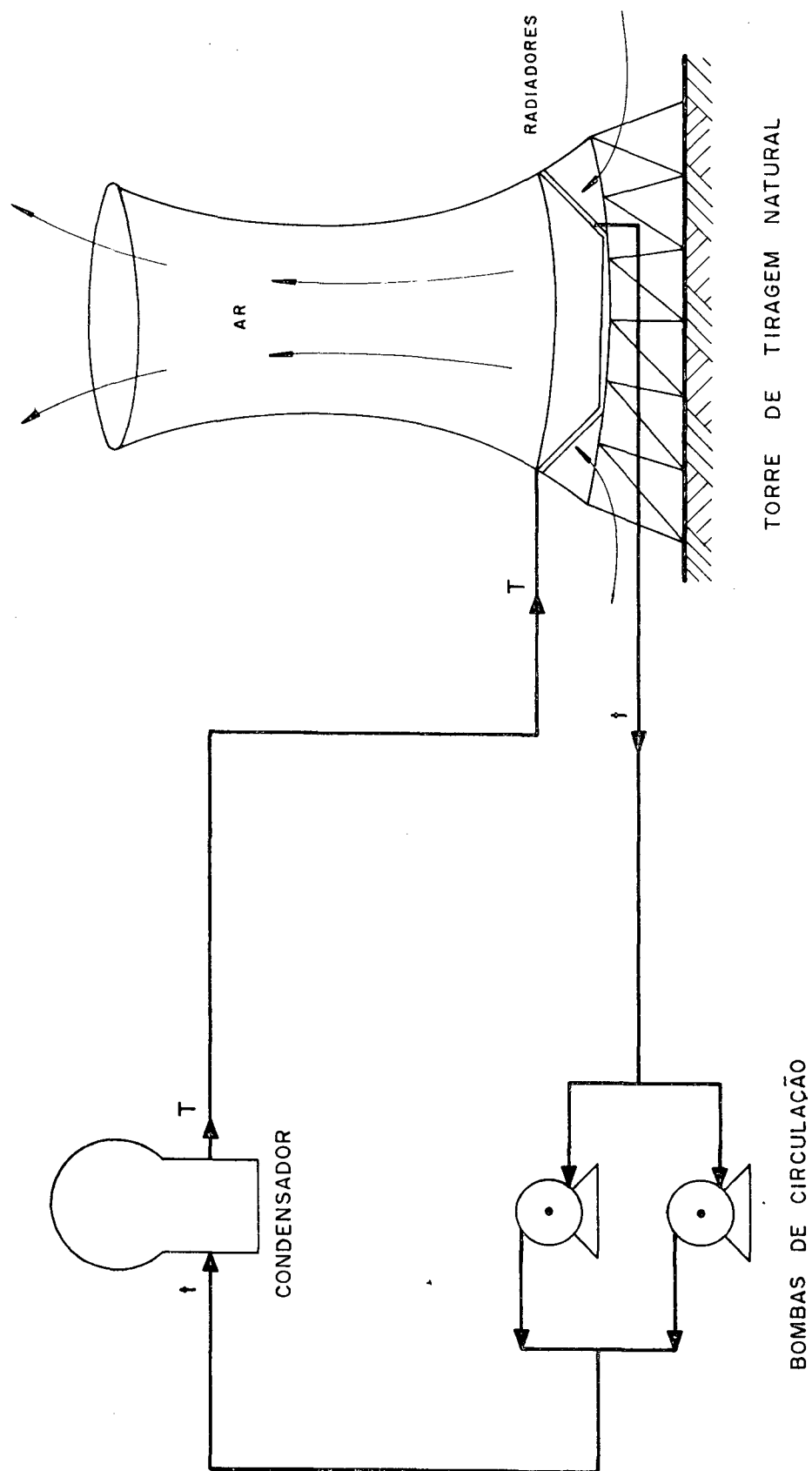


Fig. 3.3 - Torre de Refrigeração de Tiragem Natural

Para a localização de um parque gerador, com mais de uma usina, surgirão limitações que podem ser tecnicamente superadas com a construção de torres de refrigeração. A construção das torres implica num acréscimo de custo que deve ser considerado quando dos estudos de localização.

No Brasil, a água do mar não é utilizada, para este tipo de processo, devido ao custo necessário para a sua dessalinização.

Os lagos de resfriamento, naturais ou artificiais, não são encontrados na região sul.

3.3.5. Terreno

Especial atenção deve ser dada para a escolha do terreno para localização do sítio. Inicialmente são estudados os terrenos próximos a rios, lagos ou mar, visando economizar no sistema de captação de água. O terreno escolhido deve propiciar à casa de máquinas o menor custo possível e todas as modernas técnicas deverão ser utilizadas para baixar o custo.

O local deve permitir por sua configuração e contextura geológica, fundação sólida e barata. Terrenos pouco resistentes ou de rocha muito profunda, requerem fundações especiais sobre estacas, muitas vezes encarecendo a infra-estrutura das obras civis.

As áreas devem ser planas e suficientemente amplas, para permitir a possibilidade de ampliações futuras. Esta circunstância, não só por si, mas aliada a outras, tem em geral afastado as usinas das grandes cidades onde o custo do terreno é elevado e as disponibilidades das grandes áreas são escassas. A área para estocagem de combustível é dimensionada em função da potência e tipo de operação da usina e a bacia de cinzas deve estar o mais próximo possível da usina.

Preferencialmente os sítios não devem ser localizados em áreas com grande densidade demográfica devido a possíveis problemas ambientais e sociais. Outro fator importante é a necessidade de proteger a usina contra inundações.

A análise dos acessos às áreas em estudo, deve ser feita devido ao transporte dos equipamentos durante a construção e para o transporte dos combustíveis durante a vida útil.

3.3.5.1. Terreno na Região Sul

Os terrenos são os mais variados possíveis. Não serão comentados, pois cada um é um caso particular e envolve uma série de fatores a serem analisados.

3.3.6. Sistema de Transmissão

As características essenciais da economia de transmitir-se energia por linha são as mesmas que as dos carbodutos. A estrutura total de custos é dominada pelo investimento inicial, sendo consideráveis as economias a serem obtidas pela transmissão a granel.

A elevada proporção do investimento na transmissão implica que, como no caso dos carbodutos, o custo unitário de transferência da energia não cai com o aumento da distância. Pode ser ilustrado graficamente por uma linha reta, pelo menos até várias centenas de quilômetros, distância essa em que as perdas e ineficiências começam a aumentar o custo unitário da transmissão. Implica também a necessidade de manter elevado fator de carga (relação entre carga transportada e carga máxima) se quiser que a transmissão seja econômica. Visto que a indústria de eletricidade não pode armazená-la como tal, para solucionar seus problemas de carga suas reações tem sido controvertidas. Em primeiro lugar, estabeleceu uma distinção entre a carga base e a carga máxima nas suas demandas (entre a mínima quantidade de eletricidade necessária durante o ano e a máxima). E, em segundo lugar, a indústria ajustou seus preços a fim de estimular o consumo de energia nos períodos em que a carga não é máxima, para dessa forma melhorar o fator de carga.

A magnitude das economias de escala na transferência de energia elétrica origina-se dos custos de construção das linhas de transmissão maiores. A eficiência de uma linha de transmissão se reduz com cargas deficientes e portanto, com demandas flutuantes, há uma tendência de aproximar a usina ao mercado. Nos últimos anos, os aperfeiçoamentos técnicos na transmissão de energia elétrica tem aumentado a escala de transferência de energia. O principal fator restritivo para transferir a energia elétrica de voltagem mais elevada, tem sido o limitado número de grandes centros de carga. Mas não foi somente a escala de transmissão que aumentou. As distâncias em que a energia elétrica pode ser transmitida também se viram ampliadas. Antigamente se considerava antieconômico movimentar a energia elétrica em distâncias superiores a 300 quilômetros. Contudo, hoje ela é frequentemente transportada a mais de 1000 quilômetros. Nessa ampliação gradual da distância máxima possível para transmissão econômica, o emprego da corrente continua é muito importante. Tudo indica que, com outros progressos técnicos, a possível escala e amplitude da transmissão energética seja aumentada, e seu custo continuará a cair.

As economias da transferência de energia elétrica não se baseiam necessariamente apenas nos custos de transmissão. Nesta altura, a distinção entre as instalações de transmissão e interligação deve novamente ser observada. As economias de um sistema de transmissão baseiam-se nos custos alternativos de movimentar a energia entre dois pontos, enquanto, as economias de uma interligação dos sistemas devem ser tratadas de outra forma. No segundo caso, além da capacidade de transportar a energia entre diferentes lugares, a interligação de sistemas oferece vantagens adicionais como a capacidade de vários mercados compartilharem da mesma usina, além da certeza de que, se uma usina falhar outra assumirá sua parte da carga e possibilitará uma maior estabilidade no sistema.

3.3.6.1. Sistema de Transmissão da Região Sul

O sistema de transmissão da região sul é composto por

diversos tipos de linhas, a saber: 500 KV, 230 KV, 138 KV, 69 KV, etc.

As linhas de 500 KV interligam os principais mercados de energia (Porto Alegre e Curitiba) aos principais centros geradores (Itaipu, Salto Santiago e Foz do Areia).

A medida que decresce a demanda de energia decresce também a voltagem da linha. Para centros consumidores secundários e para o interior são construídos ramais dos troncos principais, e, assim por diante até a eletrificação rural em localidades isoladas.

O sistema de transmissão da região sul está interligado ao sistema de transmissão da região sudeste, que trocam energia quando necessário.

Fazem parte do sistema de transmissão as subestações necessárias para elevar ou abaixar as voltagens das linhas.

3.3.7. Meio Ambiente

No Brasil, o órgão concedente e que autoriza a construção e operação das usinas térmicas ou hidráulicas, é o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica do Ministério de Minas e Energia. Quanto aos aspectos de poluição ambiental, este organismo não é disciplinador.

Na esfera federal há a SEMA (Secretaria do Meio Ambiente), do Ministério do Interior, que estuda, propõe e regulamenta todas as questões de poluição ambiental no Brasil e, inclusive, sobre as usinas termelétricas.

A escolha do local para a instalação de uma termelétrica a carvão deve levar em consideração, entre outros aspectos, os relacionados com o impacto que esta usina provocará sobre o meio ambiente. A escolha deve ser tal que, sob igualdade das demais condicionantes não ambientais, a localização escolhida faça com que a usina cause o menor dano possível à saúde e aos bens das populações adjacentes.

Os efeitos ambientais de uma usina a carvão são provocados por suas emissões gasosas e líquidas e pela deposição dos re

jeitos sólidos. No passado, na ausência de tecnologia para controle da poluição, a melhor localização sugerida era aquela o mais distante possível de áreas habitadas. Isto, no entanto, já não é mais aceitável, pois a poluição pode propagar-se por centenas de quilômetros, principalmente nos rios, afetando populações distantes como já ocorre em algumas zonas de mineração.

Dentro de determinados limites pode-se afirmar que, a nível mundial, o controle de poluição ligado ao uso do carvão é um problema tecnicamente equacionado, dependendo da disponibilidade de recursos para esse fim. No caso do Brasil, por tratar-se de país no qual a termoelectricidade a carvão tem utilização bastante restrita, nem todas as tecnologias de controle de poluição estão efetivamente disponíveis e, quando estão, conduzem a custos de implantação sensivelmente superiores aos de países em que o número de usinas é significativo.

3.3.7.1. Influência dos Poluentes Aéreos

Os poluentes aéreos emitidos pela usina originam-se no processo de combustão do carvão. Aspira-se grandes quantidades de ar que, ao passar pela câmara de combustão, fornecem o oxigênio necessário. Ao ser expelido da câmara, o ar arrasta consigo cinzas, hidrocarbonetos e monóxido de carbono, resultantes da combustão incompleta do carvão, óxidos de enxofre contido no carvão e óxidos de nitrogênio formados nas altas temperaturas da câmara.

A emissão destes poluentes aéreos através de uma chaminé de baixa altura provocaria altas concentrações de contaminantes no ar da região e, em consequência, danos ecológicos. A solução adotada para evitar que as emissões aéreas produzam impacto ambiental é construir chaminés elevadas e/ou instalar equipamentos de remoção dos elementos tóxicos (filtros anti-poluição do ar). A escolha da solução mais conveniente depende de fatores econômicos, da localização da usina, das outras fontes poluentes já em operação na região, da legislação nacional e da legislação em países mais avançados, que muito provavelmente influirão na legislação brasileira no futuro.

Como os poluentes hídricos já são controlados corriqueiramente a preços bastante razoáveis, a localização da usina fica condicionada às emissões de poluentes aéreos, principalmente material particulado (cinzas) e dióxido de enxofre (SO_2)

3.3.7.2. Material Particulado

O carvão utilizado para usinas termelétricas no Brasil contém elevado teor de cinzas, nas quais predominam as cinzas volantes. Desta forma parte do carvão queimado é lançado pela chaminé sob a forma de cinzas e fuligens, tecnicamente denominado "material particulado".

Para que as concentrações de material particulado no ar da região estejam abaixo do máximo permitido por lei, a chaminé deve ter uma altura tão elevada que a torna técnica e economicamente inviável.

O uso de filtros anti-poluentes (precipitadores eletrostáticos) consegue reduzir em mais de 98% as emissões de material particulado, reduzindo sensivelmente a altura da chaminé. A altura exata da chaminé levará em conta a existência de outras fontes poluidoras instaladas na região, pois a legislação brasileira apenas estabelece o teor máximo de material particulado no ar, independente de quantas fontes poluidoras estiverem presentes.

A legislação ambiental americana limita as emissões de particulados pelas termelétricas a carvão e os padrões de qualidade do ar ambiente. A partir de 1979 todas as novas usinas a carvão restringiram suas emissões de particulados a 13 nanogramas por Joule de calor produzido (13×10^{-9} g/j). Como nosso carvão contém 30% de cinzas volantes, para um carvão com poder calorífico de 4500 cal/g., as emissões não controladas seriam de 16.000 ng/j, mais de 1000 vezes acima do permitido [17].

A introdução no Brasil dos padrões americanos de emissão de material particulado dificilmente ocorrerá pois inviabilizaria o uso do carvão sulino.

3.3.7.3. Dióxido de Enxôfre

Os óxidos de enxôfre emitidos por termelétricas provêm da oxidação do enxôfre presente no combustível. No caso do carvão o enxôfre aparece sob a forma de piritas e sulfatos, dos quais 95% são emitidos na forma de dióxido de enxôfre.

Se a usina termelétrica operar com precipitadores eletrostáticos de 98,5% de eficiência na retenção de particulados, fica claro que os compostos de enxôfre causarão muito maior impacto ambiental do que as cinzas, tornando-se pois os poluentes determinantes da localização da usina e da altura da chaminé.

Levando em conta apenas a legislação brasileira atual, a localização de uma usina termelétrica exigiria apenas a construção de uma chaminé suficientemente alta para que as concentrações globais de dióxido de enxôfre a nível do solo estejam abaixo dos padrões máximos permitidos.

Se fosse utilizada a legislação americana as exigências quanto à proteção da qualidade do ar seriam bem mais rigorosas. Os óxidos de enxôfre são responsáveis por chuvas ácidas, problemas de corrosão em metais expostos, deterioração da visibilidade e problemas cardíaco-respiratórios. A legislação americana limita as emissões de SO_2 , ficando o uso do carvão àqueles de alto poder calorífico e baixo teor de enxôfre.

Se este padrão fosse introduzido no Brasil, o carvão sulino não poderia ser aproveitado em termelétricas.

Com o aumento no preço do petróleo, houve um avanço na tecnologia de controle das emissões de dióxido de enxôfre. A legislação americana fez então um balanço entre a tecnologia confiável e acessível e o máximo uso das reservas carboníferas.

Se igual legislação for adotada no Brasil, deverá ser utilizada a melhor tecnologia adotada nos EUA para retenção de dióxido de enxôfre, com 90% de eficiência, viabilizando o uso do carvão brasileiro.

3.3.7.4. Localização da Usina Termelétrica em função do Meio Ambiente

O problema de localização deve levar em conta não apenas a legislação atual mas também aquela que eventualmente poderá ser adotada no Brasil, isto porque uma legislação mais rígida poderá exigir da usina a instalação de novos equipamentos anti-poluição caros, que não seriam exigidos se a usina estivesse em outra localização.

Com relação ao problema de poluição por material particulado não afetará a localização de uma usina termelétrica desde que a chaminé seja suficientemente alta e a eficiência dos precipitadores seja em torno de 99%. Qualquer que seja a localização da usina, estas condições serão mantidas pelos órgãos governamentais.

As emissões de dióxido de enxofre deverão apresentar problemas se a localização proposta vier a causar efeitos negativos sobre a população. Se a usina for instalada longe de núcleos habitacionais, em regiões remotas onde seus efeitos ecológicos não sejam sentidos, o problema de poluição da usina terá uma baixa prioridade nos órgãos encarregados do meio ambiente. A compra e manutenção do equipamento de remoção de dióxido de enxofre deve elevar, indiretamente, o preço da energia gerada.

3.3.7.5. Impacto das Usinas Termelétricas no Meio Ambiente da Região Sul

Desde que sejam respeitadas certas proposições como: não localizar uma usina termelétrica perto de locais com alta concentração de indústrias, com elevado índice populacional ou onde exista um desequilíbrio da flora ou fauna, os problemas decorrentes da poluição de uma usina termelétrica com a legislação brasileira atual, podem ser facilmente resolvidos. Se alguma dessas proposições não for respeitada, o problema deverá ser estudado para ver em que condições pode ser resolvido.

Em parques geradores térmicos (mais de uma unidade no mesmo sítio) os cuidados devem ser maiores, pois a cada ampliação as condições mudam, até um nível máximo, quando então o meio ambiente passa a ser agredido.

Não existem situações críticas na região sul, mas, se forem construídos complexos industriais perto dos parques geradores termelétricos possivelmente a situação pode se agravar.

3.4. Conclusões

O processo de escolha de locais viáveis envolve uma série de variáveis que interagem entre si. Cada caso deve ser analisado individualmente e depois comparativamente. Nenhum parâmetro é absoluto, todos são relativos. A modificação de um parâmetro afeta todos os outros e, portanto, torna-se impossível tentar otimizá-los individualmente.

Os parâmetros relevantes devem ser analisados e a seleção final dos sítios pode ser estabelecida considerando-se critérios técnicos, econômicos, sociais e políticos.

Pode ser constatado que a região sul dispõe de todas as condições para a localização de parques geradores termelétricos.

Neste capítulo foi apresentada uma descrição da sequência lógica para o processo de seleção do sítio ideal. Foram abordadas as principais variáveis com suas características e como afetam a localização das usinas termelétricas.

No próximo capítulo é apresentada uma proposta para solução do problema proposto.

4. SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE USINAS TÉRMICAS A CARVÃO

4.1. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Os critérios adotados atualmente para localização de usinas termelétricas no território nacional, são baseados em abordagens econômicas. Metodologias específicas não são utilizadas porque até algum tempo atrás o número de usinas termelétricas brasileiras era muito pequeno não exigindo estudos aprofundados para localizar uma ou outra usina, de baixa potência, num grande território.

Devido às condições atuais, de um novo impulso na produção de carvão, da provável aquisição de usinas termelétricas a carvão e de maior potência, o problema passa a tomar corpo e nada mais óbvio que a classe técnica começar a se preocupar com a futura política de localização com uma certa antecedência.

As usinas térmicas permitem uma relativa flexibilidade de localização: nas proximidades dos centros de carga, próximas as fontes de combustível ou em locais convenientes para a operação do sistema.

Considerando-se os aspectos econômicos, de restrição ambiental, aspectos relativos as condições necessárias para implantação de usinas termelétricas e o grande número de itens a analisar, o problema de localização de usinas térmicas torna-se uma questão mais complexa. Assim, dado um conjunto de sítios possíveis, diferentes esquemas de suprimento de combustível, diferentes esquemas de integração elétrica ao sistema de geração e transmissão e condições de suprimento de água, a proposta deste trabalho é criar uma abordagem original para o problema, dentro das características nacionais, envolvendo o maior número possível de parâmetros e com base em critérios econômicos de solução.

4.2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Uma vez caracterizada a necessidade de ampliar o parque gerador, por motivos de confiabilidade ou previsão de ampliação através de uma ou várias usinas termelétricas, o problema de localização pode ser enunciado como:

"Dado um parque gerador e um programa de obras de geração até um certo horizonte, localizar as usinas de um parque térmico (a carvão) em pontos viáveis de uma região pré-estabelecida, segundo critério fornecido (em geral custo total mínimo das instalações)."

As variáveis envolvidas na solução do problema estão descritas individualmente no capítulo 3. Para o caso da localização de usinas térmicas estas variáveis deverão ser agrupadas e analisadas técnica e economicamente. Não existe variável predominante todas são relativas.

Devem ser fornecidos alguns dados para a utilização do algoritmo, a saber:

- Áreas candidatas a sítios.
- Número de unidades a serem construídas.
- Potência das unidades.
- Cronograma de entrada em operação das usinas no sistema.
- Configuração do sistema elétrico já existente.

4.3. SOLUÇÃO DO PROBLEMA

A localização do parque gerador, através de Usinas Termelétricas a carvão, será descrita pelos nós e ramos de um grafo, com seus respectivos parâmetros de interesse associado. Os conceitos e definições da teoria de grafos, úteis para o desenvolvimento do trabalho são dados no "Apêndice A".

O grafo do problema de localização de Usinas Térmicas é um grafo que atende aos conceitos do "Apêndice A", sendo que seus nós representam configurações e seus ramos representam transições de estados, consideradas ampliações do parque gerador com adição de uma usina termelétrica a carvão, de forma que dois nós C_1 e C_2 e o ramo $R_{12} = (C_1, C_2)$ significam que a configuração C_2 foi obtida de C_1 pela adição de uma usina termelétrica em um sítio qualquer, o que determina R_{12} . Todo o grafo é gerado a partir de C_0 , configuração inicial.

O problema consiste em encontrar uma sequência de configurações $(C_0, C_1, C_2, \dots, C_n)$ tal que se obtenha o mínimo custo de implantação e operação de n usinas termelétricas.

A seguir é descrita a modelagem do problema, são definidos os principais conceitos envolvidos e chega-se à caracterização de um grafo de planejamento.

4.3.1. Modelagem do Problema Segundo um Grafo

São descritos a seguir alguns conceitos para a caracterização do problema de localização do parque gerador térmico.

- Estágio

O instante de tempo onde ocorre ampliação do parque gerador termelétrico, chama-se estágio. Pode ser relacionado também com o número de unidades a serem ampliadas.

- Configuração

Para cada sítio podem ser analisadas diversas fontes de abastecimento de carvão, diversos meios de transporte de combustível, diversos tipos de obras civis, diversos sistemas de refrigeração para a água, vários modos de interligação das usinas ao sistema de transmissão, etc.

Portanto, cada sítio, num mesmo estágio e para a mesma unidade, pode ter diversas combinações dessas variáveis e cada combinação diferente constitui uma configuração.

Cada configuração corresponde a um nó (Apêndice A).

- Configuração Inicial (Co)

É uma configuração hipotética que serve como origem. Seu estágio é zero.

- Configuração Alvo

É a configuração correspondente ao último estágio.

- Sucessora de uma Configuração

Uma configuração C_2 é sucessora de C_1 se pode ser obtida a partir de C_1 com implementação do tipo adição de uma usina termelétrica. A sucessora C_2 é considerada admissível se são satisfeitas as seguintes restrições:

Seja:

K_n = Estágio da Configuração "n"

I_n = Sítio da Configuração "n"

J_n = Unidade da Configuração "n"

i. $K_1 = K_2 + 1$

ii. Se $I_1 = I_2$

$J_1 = J_2 + 1$

iii. Se $I_1 \neq I_2$

$J_1 = 1$ - Se for a primeira vez que este sítio aparece no grafo, no mesmo ramo.

$J_1 = J_n + 1$ - Se o sítio já apareceu mais de uma vez no grafo, J_n é o número de unidades no último estágio em que o sítio aparece, para o mesmo ramo.

- Configurações Eficientes

São aquelas configurações que fazem parte do caminho com melhor política (menor renda total).

- Expansão de uma Configuração C_p

Consiste na determinação das sucessoras admissíveis de C_p . Através de sucessivas expansões são obtidas as configurações eficientes.

- Custo da Configuração

Para uma configuração dada, o somatório dos custos das variáveis que a compõem, é o seu custo.

- Renda ou Custo Total

O somatório dos custos de todas as configurações que compõem uma política, até um estágio dado.

- Estado

Fornece o número de unidades construídas em cada sítio, num estágio qualquer.

- Política Viável

Toda a sequência de configurações que obedecer aos conceitos anteriores e sua última configuração pertencer ao alvo, chama-se política viável.

- Política Ótima

A política viável com menor renda total é a política ótima.

4.3.2. Técnica de Solução

Genericamente o problema de localização de usinas termelétricas é caracterizado pela tentativa de otimização global de diversos fatores que influem no processo, procurando-se uma situação de equilíbrio entre a maximização dos benefícios econômicos associados ao empreendimento e a minimização do impacto social e ambiental.

O problema se enquadra na classe de problemas de decisões seqüenciais com o objetivo de escolher uma alternativa de menor custo total atualizado. Essa formulação sugere, inicialmente, a utilização da programação dinâmica. Esta técnica implica, em geral, em simplificações com o objetivo de reduzir um problema computacional inerente a capacidade de memória do computador. Tendo em vista esta dificuldade, propõem-se neste trabalho o uso de técnicas de busca de caminhos em grafos, com auxílio do algoritmo de Dijkstra.

O algoritmo básico de Dijkstra é formalmente descrito no "Apêndice B" que é muito eficiente para problemas de decisões seqüenciais, quando não se utilizam heurísticas.

O algoritmo utilizado para solução do problema será descrito neste item sendo enfatizadas suas principais características, de modo a se ter uma visão de como evolui o processo de solução.

As informações internas ao programa são processadas através de registros. A estrutura de cada registro é composta de: configuração anterior (ou antecessora), renda total (somatório dos custos até o estágio considerado), configuração posterior (ou sucessora) e o último número corresponde ao estágio (primeiro algarismo) e estado (os outros três, para sítios 1, 2 e 3 respectivamente, no caso do exemplo do Capítulo 5).

O algoritmo manipula dados em três listas a saber:

Lista SUC - Lista temporária que guarda os elementos obtidos em cada expansão, após eliminações

feitas através de comparações de seus elementos com os da lista aberta.

Lista Aberta - Armazena os registros já obtidos e não expandidos.

Lista Fechada - Armazena os registros já expandidos pelo algoritmo (fechados). É utilizada na recuperação das estratégias obtidas.

Em linhas gerais o algoritmo de Dijkstra pode ser descrito através dos seguintes passos:

PASSO 1 - Inicialização - Colocar na lista aberta os dados iniciais da configuração C_0 com custos nulos.

PASSO 2 - Se a lista aberta estiver vazia pare, não há solução. Se não, escolher na lista aberta a configuração C_i de mínimo custo.

Se a configuração C_i pertencer ao alvo (se $K = n^\circ$ de usinas térmicas a serem ampliadas) ir para o passo 5.

Se não, retirar C_i da lista aberta e transferir para a lista fechada.

PASSO 3 - Obter a lista de sucessores admissíveis para a configuração colocada na lista fechada. Somar o custo da configuração ao custo acumulado das ampliações até o momento.

Se não existirem configurações sucessoras voltar para o Passo 2.

PASSO 4 - Transferir as configurações sucessoras para a lista aberta.

Voltar para o passo 2.

PASSO 5 - Recuperar a seqüência que gerou a configuração do alvo, armazenada na lista fechada e listar o resultado.

PASSO 6 - Comparar o número de resultados obtidos com o número de resultados desejados, se for menor o programa deverá prosseguir, se for igual ou maior o programa está concluído.

PASSO 7 - Incrementar o custo da última expansão, para que o programa não obtenha o mesmo resultado e retornar para o passo 2.

De modo a permitir uma maior flexibilidade ao planejador na determinação da melhor solução para o problema em questão, o algoritmo implementado permite que mais de uma política de localização seja determinada, sendo possível serem geradas, além da solução de mínimo custo, estratégias alternativas de solução correspondentes a caminhos de custos sub-ótimos no grafo de localizações possíveis. Assim, o algoritmo proposto difere daquele descrito por Nilson (8), no que se refere à regra de parada, uma vez que, como mostrado na descrição do algoritmo, o programa obtém mais de uma solução além da ótima, sem que o algoritmo seja interrompido. O processo só será terminado quando tiver sido obtido o número de políticas de localização esperada.

Observa-se que o algoritmo fornece uma solução ótima. As soluções adicionais são apenas subótimas uma vez que a penalização no último ramo, conforme proposto no algoritmo, tem fornecido bons resultados do ponto de vista prático, mas não garante que a segunda solução fornecida seja a segunda melhor, que a terceira seja a terceira melhor, etc...

4.4. SISTEMA COMPUTACIONAL

Devido ao elevado número de variáveis envolvidas e da complexidade do problema, conforme descrito no item 4.1, foi ela-

borado um programa computacional com base no algoritmo proposto para solução do problema.

4.4.1. Dados de Entrada

O algoritmo fornecerá a política ótima para ampliação do parque gerador, com usinas termelétricas a carvão, baseado em critérios de custo. Portanto, a entrada de dados é feita através de matrizes de custo para cada variável envolvida.

Matrizes de Entrada

- Sítios X Unidade

Fornece o custo de cada unidade, inclusive equipamentos auxiliares, para o sítio em questão.

- Mina X Unidade

Estabelece o custo de exploração do combustível para cada unidade, durante toda sua vida útil. Para cada sítio corresponde uma matriz.

- Transporte X Mina

Estabelece o custo de transporte do combustível, entre a mina e o sítio, para diversos tipos de transporte (rodoviário, ferroviário, carboduto, etc). O custo considera toda a vida útil da usina. Para cada unidade de cada sítio corresponde uma matriz.

- Obras Cíveis X Unidade

Cada tipo de obra civil, para cada unidade, tem seu custo equivalente. Devem ser incluídas as partes de aquisição de

terrenos, aterros, fundações, etc. Para cada sítio corresponde uma matriz.

- Sistemas de Refrigeração X Unidades

Fornece o custo de diversos sistemas de refrigeração, para cada unidade. Devem ser considerados os custos da parte civil envolvidos no sistema. Para cada sítio corresponde uma matriz.

- Interligação com Sistema X Unidade

Estabelece um custo médio da integração das novas unidades com o sistema já existente. Estão incluídos os custos das subestações necessárias e das linhas de transmissão. Para cada sítio corresponde uma matriz.

4.4.2. Descrição do Sistema

O sistema é composto de um programa principal e quatro subrotinas. Todos estão descritos nos itens seguintes exceto a subrotina "ZERAI" que se refere a alocação do "DIMENSION". Os fluxogramas encontram-se no "Apêndice C".

a) Subrotinas

- Subrotina de entrada de matrizes ("subroutine Entrma")

Esta subrotina fornece todos os dados (matrizes) de entrada do programa.

- Subrotina de geração de configurações ("Subroutine Gercon")

Com base nos dados de entrada, esta subrotina monta todas as configurações possíveis e calcula o seu respectivo custo.

As configurações, conforme descrito no item 4.3.1, são combinações devidamente ordenadas das variáveis envolvidas no problema de localização. Conforme descrito no fluxograma da subrotina, a estrutura de uma configuração é a seguinte:

I, J, MI, T, OC, SR, IS

I = Sítio onde situa-se a unidade a ser construída.

J = Unidade a ser construída.

MI = Mina que fornecerá o carvão.

T = Tipo de transporte a ser utilizado.

OC = Tipo de obra civil.

SR = Tipo do sistema de refrigeração escolhido.

IS = Interligação da usina com o sistema.

A cada variável está associado um custo, conforme descrito no item 4.4.1. Somando todos estes custos, obtém-se o custo total da configuração.

- Subrotina para selecionar a configuração de menor custo ("Subroutine Mecus")

Esta subrotina seleciona, na lista aberta, a configuração de menor custo e transfere-a para a lista fechada (expande), conforme "Passo 2" da descrição do algoritmo.

b) Programa Principal

O programa principal obedece a descrição do algoritmo de Dijkstra. Após a inicialização gera as possíveis configurações sucessoras (lista SUC) e transfere-as para a lista aberta.

Na lista aberta seleciona a configuração com menor custo transferindo-a para a lista fechada. Com base na última configuração volta a gerar suas sucessoras.

O programa prossegue iterativamente até obter o número proposto de unidades a serem ampliadas. Esta primeira política obtida é a ótima (de menor custo).

Para obter as outras políticas, incrementa-se o custo da última expansão e o programa retorna à configuração inicial.

4.4.3. Relatórios de Saída

O relatório de saída para o problema proposto contém três soluções. A política ótima e duas outras políticas sub-ótimas quaisquer com custos superiores.

A estrutura do relatório de saída é baseada nos registros, descritos no item 4.3.2, e configurações, descritos no item 4.4.2.

4.5. CONCLUSÃO

Este capítulo foi dedicado a formulação e solução do problema de localização de usinas térmicas a carvão. Foi descrita a proposta do trabalho e a técnica para resolver o problema. Apresentou-se o algoritmo utilizado na solução do problema e sua diferença do algoritmo de Dijkstra, conforme consta da bibliogra-

fia.

No capítulo seguinte estes conceitos serão utilizados para resolver um exemplo proposto, verificando se a metodologia utilizada atende aos objetivos do trabalho.

5. EXEMPLO

5.1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de ilustrar o uso do algoritmo para solução do problema de localização de usinas termelétricas é apresentado a seguir um exemplo resumido do uso da metodologia proposta.

Foram considerados como dados, após os estudos preliminares, três locais viáveis para construção de usinas termelétricas (sítios). Cada sítio tem capacidade de serem instaladas três unidades, no máximo. O programa de ampliação estima em seis unidades, entrando em operação uma a cada estágio.

Os valores de custo adotados basearam-se em dados próximos da realidade. Como meios de transporte foram adotados o ferroviário (1) e o rodoviário (2) haja visto a falta de rios com porte para o transporte fluvial e o elevado custo do carboduto para grandes distâncias no Brasil. Para as obras civis considerou-se dois tipos diferentes de construção da casa de máquinas: concreto (1) e estrutura metálica (2). Os sistemas de refrigeração utilizados no exemplo foram: circuito aberto, por rio (1) e circuito fechado, com torre de refrigeração de tiragem mecânica (2). A interligação com o sistema são as usuais, em função das tensões utilizadas nas regiões.

No presente exemplo, no estágio "zero", ainda não se tem nenhuma usina nos sítios, podendo ser construída uma unidade, em qualquer sítio, com diferentes configurações. A partir do primeiro estado, o sistema pode ser novamente ampliado, locando outra unidade num sítio qualquer, com qualquer configuração, e assim por diante até completar o programa.

5.2. DADOS DO PROBLEMA

Os dados de entrada são fornecidos por matrizes/custo envolvendo as variáveis condicionantes descritas nos capítulos anteriores.

Para o exemplo apresentado as matrizes são as seguintes:

Matriz (1)

Unidades	1	2	3
Sítios			
1	10	10	10
2	12	8	6
3	13	14	15

Matriz (2)			
<u>Sítio 1</u>			
Unidades	1	2	3
Minas			
1	10	8	10
2	8	10	12

Matriz (3)
Sítio 2

Unidades	1	2	3
Minas			
1	10	10	10
2	11	8	6

Matriz (4)
Sítio 3

Unidades	1	2	3
Minas			
1	8	7	10
2	10	12	14

Matriz (5)

Sítio 1/Unidade 1

Transp. Minas		
	1	2
1	30	60
2	40	50

Matriz (6)

Sítio 1/Unidade 2

Transp. Minas		
	1	2
1	30	60
2	40	50

Matriz (7)

Sítio 1/Unidade 3

Transp. Minas		
	1	2
1	100	90
2	80	80

Matriz (8)

Sítio 2/Unidade 1

Transp. Minas		
	1	2
1	40	50
2	40	50

Matriz (9)

Sítio 2/Unidade 2

Transp. Minas		
	1	2
1	20	30
2	30	40

Matriz (10)

Sítio 2/Unidade 3

Transp. Minas		
	1	2
1	10	20
2	30	30

Matriz (11)

Sítio 3/Unidade 1

Transp.		
Minas	1	2
1	20	30
2	30	30

Matriz (12)

Sítio 3/Unidade 2

Transp.		
Minas	1	2
1	20	20
2	20	20

Matriz (13)

Sítio 3/Unidade 3

Transp.		
Minas	1	2
1	10	10
2	20	10

Matriz (14)

Sítio 1

Unidades			
Obras Cíveis	1	2	3
1	3	2	1
2	4	3	3

Matriz (15)

Sítio 2

Unidades	1	2	3
Obras Cíveis			
1	3	3	3
2	4	5	6

Matriz (16)

Sítio 3

Unidades	1	2	3
Obras Cíveis			
1	4	4	4
2	3	2	2

Matriz (17)

<u>Sítio 1</u>				
Unidades		1	2	3
Sist. de Refrig.				
1		2	2	5
2		6	7	10

Matriz (18)

<u>Sítio 2</u>				
Unidades		1	2	3
Sist. de Refrig.				
1		1	2	2
2		2	2	2

Matriz (19)

<u>Sítio 3</u>				
Unidades		1	2	3
Sist. de Refrig.				
1		2	3	4
2		2	2	3

Matriz (20)

<u>Sítio 1</u>				
Unidades		1	2	3
Interl. c/sist.				
1		30	20	15
2		40	50	60

Matriz (21)

<u>Sítio 2</u>				
Unidades		1	2	3
Interl. c/sist.				
1		20	15	10
2		20	20	20

Matriz (22)

<u>Sítio 3</u>				
Unidades		1	2	3
Interl. c/sist.				
1		10	5	5
2		15	10	10

5.3. SOLUÇÃO E ANÁLISE DO RESULTADO

Definidas as matrizes de entrada, o programa utilizado para solução do problema monta todas as possíveis configurações, com seus respectivos custos, através da subrotina "GERCON". Em seguida, são selecionadas as configurações de menor custo e o programa inicia a geração do grafo. Todas as configurações geradas e as listas aberta e fechada são apresentadas no "Apêndice D".

Seguindo os "passos" do programa principal o algoritmo irá convergir para a solução proposta no trabalho, uma política ótima e duas sub-ótimas, que é apresentada na tabela 5.1.

De posse do resultado, podem ser analisados diversos fatores a serem avaliados durante uma tomada de decisão.

Do resultado obtido, o vetor estágio/estado no final será 6033. O primeiro número é o estágio = 6, isto é, foram implantadas seis unidades. Os outros três, correspondem ao número de unidades a serem implantadas no sítio 1, 2 e 3 respectivamente. Conclui-se que, o sítio 1 deve ser relegado pois não será construída nenhuma usina e os prováveis custos para um estudo de viabilidade do sítio 1 poderão ser revertidos para os outros dois sítios. Os sítios 2 e 3 deverão ser estudados a fundo pois terão suas capacidades de instalação esgotadas com as ampliações do presente programa.

As seis unidades serão implantadas em dois sítios (2 e 3) e a ordem de implantação das unidades pode ser alterada, desde que se obedeça a ordem cronológica, sem a alteração do investimento para ampliação do parque gerador, Isto é:

Nº de Unidades do Programa		1	2	3	4	5	6
1ª Opção	Unidade Sítio	1	2	3	1	2	3
		2	2	2	3	3	3
2ª Opção	Unidade Sítio	1	1	2	2	3	3
		2	3	3	2	2	3

Tabela 5.1 - SOLUÇÃO

POLITICA DIAMA

CONFIGURACAO ANTERIOR	CUSTO ACUMULADO	CONFIGURACAO POSTERIOR	VEICOR ESTC/ESTC
0	56	3111221	1001
3111221	106	3212221	2002
3212221	151	3312221	3003
3312221	237	2111112	4013
2111112	295	2211121	5023
2211121	336	2311121	6033

POLITICA SUBCTIMA1

CONFIGURACAO ANTERIOR	CUSTO ACUMULADO	CONFIGURACAO POSTERIOR	VEICOR ESTC/ESTC
0	86	2111112	1010
2111112	144	2211121	2020
2211121	185	2311121	3030
2311121	270	1111111	4130
1111111	326	3111221	5131
3111221	376	3212221	6132

POLITICA SUBCTIMA2

CONFIGURACAO ANTERIOR	CUSTO ACUMULADO	CONFIGURACAO POSTERIOR	VEICOR ESTC/ESTC
0	85	1111111	1100
1111111	171	2111112	2110
2111112	229	2211121	3120
2211121	285	3111221	4121
3111221	335	3212221	5122
3212221	380	3312221	6123

E assim por diante, podem ser feitas dezenas de combinações. O mais lógico é que o programa seja implantado numa ordem crescente de custo de investimento, conforme foi proposto no resultado final do trabalho.

Outra análise importante a ser feita, é que quando da construção da quarta unidade do programa, se for feita uma comparação unitária de cada sítio, o sítio número 1 seria o beneficiário pois o custo para implantação desta unidade é 85 contra 86 do sítio 2.

Se for levado em conta o valor potencial de cada sítio nota-se que, enquanto o custo das outras unidades do sítio 1 decresce um pouco para a unidade 2 (72) e depois sobe para a unidade 3 (123) o custo das outras unidades do sítio 2 decresce para a unidade 2 (58) e mais ainda para a unidade 3 (41). Portanto, tomando como base o valor potencial, o sítio 2 é mais viável que o sítio 1 e a quarta unidade do programa será construída no sítio 2 apesar de seu valor unitário ser maior que o do sítio 1.

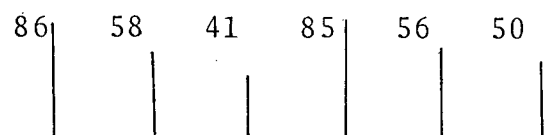
Um outro critério para análise seriam os custos de políticas importantes.

A política sub-ótima 1 e sub-ótima 2 são superiores à política ótima em 12% e 13% respectivamente. As duas políticas sub-ótimas utilizam os três sítios para localização das unidades. Em ordem cronológica de desembolso tem-se:

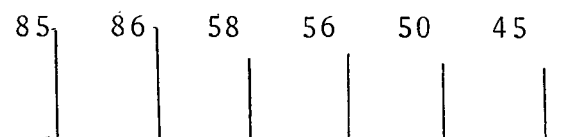
Política Ótima



Política sub-ótima 1



Política sub-ótima 2



Com base no fluxo de caixa, os desembolsos são feitos de maneira a minimizar o custo global, utilizando também os custos por estágio. Os custos por estágio (ou por unidade ampliada), são função das variáveis de localização.

O custo da trajetória ótima, com o uso da metodologia proposta, foi de 336 unidades monetárias.

Por outro lado, o custo máximo da ampliação do parque gerador, isto é, se for adotada a pior política possível, será de 714 unidades monetárias, mais do que o dobro do custo mínimo. Deduz-se que a variação entre a política ótima e outra qualquer, pode chegar a ultrapassar os 100% do investimento total.

O custo para trajetória ótima incremental, isto é, adotar sempre aquela configuração de mínimo custo após cada passo, será de 394 unidades monetárias.

A trajetória ótima incremental para o caso do exemplo seria:

Configuração	Custo
3111211	56
3211221	50
3312221	45
1111111	85
1211111	72
2111111	86
Total	394

Comparando os dois resultados obtêm-se que o custo para trajetória ótima incremental é de 17,26% superior ao custo da trajetória proposta. Traduzindo este percentual em dólares temos que:

Custo do Kw médio instalado = US\$ 1.200,00

Custo de seis unidades de 120 MW, por exemplo = US\$ 864.10⁶

17,26% do investimento total = US\$ 150.10⁶

Quando o percentual é traduzido em valores monetários tem-se uma idéia mais real dos valores em questão.

O grafo converge após 335 registros da lista fechada. Como pode ser notado, mesmo um simples exemplo exige um trabalho quase impossível de ser feito manualmente. Se for analisado um caso maior, com mais unidades, sítios, minas, etc., o uso de uma técnica computacional para racionalizar o trabalho torna-se necesário.

Deve ser ressaltado que o custo para controle da poluição ambiental não foi avaliado, mas poderiam ser anexados no trabalho pois também são condicionantes para localização. O custo de um precipitador eletrostático ou até de filtros dessulfurizadores podem chegar a quantias elevadas.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada uma metodologia para localização de usinas termelétricas que fundamentalmente difere das demais metodologias já existentes na forma de englobar os custos das variáveis envolvidas e fornecer o programa de ampliação do parque gerador. Foram analisadas as formas de obtenção de energia, as variáveis envolvidas numa ampliação do parque gerador e apresentada uma discussão da bibliografia existente sobre a localização de usinas térmicas. Também foi abordado o sistema elétrico brasileiro, feita uma descrição do processo de geração termelétrica a carvão e apresentadas algumas características da localização de usinas térmicas. Foi discutido o processo de seleção, das proposições básicas e das variáveis ou parâmetros relevantes envolvidos no processo de localização.

A metodologia proposta no trabalho, sua formulação, modelagem e o algoritmo baseado na técnica de busca de caminhos em grafos são ilustrados através de um exemplo.

Conforme apresentado, o problema de localização de usinas termelétricas é muito mais complexo do que a importância dada a ele. A análise deve abranger critérios técnicos, econômicos, sociais e ambientais. A certeza de sucesso é maior quanto melhor a metodologia adotada e mais preciso forem os valores utilizados.

Se a usina for bem localizada ela não será notada mas, se ocorrer o contrário, todos os aspectos negativos inerentes a qualquer processo tecnológico serão salientados, sejam eles técnicos, econômicos, sociais ou ambientais. Uma usina mal localizada representa prejuízos econômicos e sociais por toda a vida útil do equipamento, tendendo a aumentar com o passar do tempo.

Com a importância dada atualmente aos substitutos dos derivados do petróleo, nota-se que as diretrizes do desenvolvimento tecnológico voltam-se para as soluções alternativas. Visto isto

so, conclui-se que para a situação brasileira, o carvão, pela sua quantidade, preço e tecnologia de exploração e transformação em grande parte absorvida pela indústria nacional, será um dos primeiros recursos energéticos a participarem da retomada do crescimento do mercado.

(Dentre as vantagens da utilização da metodologia proposta, salienta-se a análise total de cada sítio, seu valor potencial; isto é, construir tantas unidades até o seu esgotamento, o que atualmente não é feito.

O método após implantado, é de fácil e rápido acesso, podendo o planejador rever a política de ampliação do parque gerador quando for necessário. A atualização dos custos após cada ampliação seria desejável pois a política ótima pode variar com o tempo.)

6.2. RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

A metodologia apresentada no trabalho utiliza o algoritmo de Dijkstra para solução do problema. A primeira sugestão seria a utilização de outro algoritmo, por exemplo A* ou Â, com a inclusão de uma heurística visando diminuir o tempo de processamento do programa.

Com base nas variáveis condicionantes da localização, expostas anteriormente, poderia ser feita uma análise detalhada de cada uma utilizando a sua variação com o tempo e a técnica de cenários. Isto viria a facilitar uma tomada de decisão baseada num certo horizonte de estudo.

A mesma metodologia para localizar usinas térmicas a carvão pode ser utilizada para localizar usinas nucleares. As variáveis envolvidas deverão ser revistas, pois, uma das principais variáveis condicionantes para as usinas térmicas a carvão, o transporte do combustível, não será relevante para as usinas nucleares devido ao pequeno volume a ser transportado.

APÊNDICE A

CONCEITOS E DEFINIÇÕES DA TEORIA DE GRAFOS [18]

1. GRAFO

Grafo é um par ordenado $G = (N, M)$ onde:

N é o conjunto de nós de G

M é uma família, $M = (r_i)_{i \in I}$, cujos elementos, ramos de G , satisfazem $r_i \in N \times N$, $i \in I$

Um ramo é um par $r = (n_1, n_2)$, com $n_1, n_2 \in N$, sendo n_1 a extremidade inicial e n_2 a extremidade final do ramo.

2. REDE

Rede é um grafo (N, M) que não contenha ramos do tipo (n, n) , ou seja, laços.

3. RAMOS E NÓS ADJACENTES

Dois ramos de um grafo G são adjacentes se tiverem, pelo menos, uma extremidade em comum. Dois nós são adjacentes se forem extremidades de um mesmo ramo.

4. CAMINHO

Denomina-se caminho, uma seqüência de ramos tais que a extremidade final de cada ramo, excluído o último, coincide com a extremidade inicial do próximo.

5. COMPRIMENTO DE UM CAMINHO

O comprimento do caminho é dado pelo número de ramos que o compõem.

6. CADEIA

É uma sequência de ramos (r, r_2, \dots, r_p) tais que cada ramo intermediário é ligado ao anterior por uma extremidade e ao seguinte pela outra.

7. GRAFO CONEXO

Um grafo é dito conexo se quaisquer dois de seus nós possam ser ligados por uma cadeia.

8. GRAFO PARCIAL

Seja um grafo $G = (N, M)$. Se $M' \subset M$, então (N, M') é um grafo parcial de G .

9. SUBGRAFO

(N', M') é um subgrafo de (N, M) se $N' \subset N$ e $M' \subset M$ e todos os ramos de M cujas extremidades estejam em N' estejam também em M' .

10. OPERADOR SUCESSOR

Se um grafo $G = (N, M)$ não tem ramos múltiplos isto é, se $(\forall r', r' \in M), r \neq r'$, então o grafo é perfeitamente caracterizado pelo par (N, Γ) , onde Γ é o operador sucessor de G e definido por

$$\forall \bar{n} \in N \quad \Gamma(\bar{n}) = \{ n / (\bar{n}, n) \in M \}$$

ou seja, $\Gamma(\bar{n})$ é o conjunto das extremidades terminais dos ramos cuja extremidade inicial é \bar{n} . Os nós em $\Gamma(\bar{n})$ são denominados sucessores de \bar{n} .

11. ÁRVORE

É um grafo conexo sem ciclos. Em uma árvore cada par de nós pode ser ligado por uma única cadeia.

12. ARBORESCÊNCIA

É uma árvore munida de um centro.

Em uma arborescência, cada nó pode ser ligado ao centro por um único caminho.

APÊNDICE B

ALGORÍTMO DE DIJKSTRA [8]

Neste algoritmo realizam-se expansões de configurações desde C_0 (configuração inicial), escolhendo para expandir sempre aquela de mínimo índice custo entre as configurações geradas e ainda não expandidas. O algoritmo finaliza ao atingir o horizonte de planejamento ou ao se esgotarem as configurações a expandir, neste caso com insucesso.

DESCRIÇÃO DO ALGORÍTMO

- INICIALIZAÇÃO

- 1) Para cada configuração $c \in C$, guardar a sua descrição.
- 2) Definir duas listas para armazenar os registros-lista aberta e lista fechada.
- 3) Criar a estrutura para os registros:

R_n (Config.Ant, Renda, Config.Post., K123)
 Config.Ant. - configuração anterior - C_n
 Renda - somatório dos custos de todas as configurações até a configuração posterior, inclusive. - Ren_{tot}
 Config.Post. - configuração posterior - C_{n+1}
 $K123 - K$ - estágio

 - 1 - número de unidades construídas no estágio 1 até o estágio K.
 - 2 - número de unidades construídas no estágio 2 até o estágio K.
 - 3 - número de unidades construídas no estágio 3 até o estágio K.

- ALGORÍTMO PROPRIAMENTE DITO

Passo 1 - Introduzir na lista aberta os dados do registro inicial R_0 com custos nulos.

Passo 2 - Se a lista aberta estiver vazia pare, não existem mais soluções. Senão, escolher na lista aberta um registro R_n com renda total (Ren_{tot}) mínima e transferir para a lista fechada.

Passo 3 - Obter a lista dos registros sucessores da última configuração do registro da lista fechada.
Para cada registro atualizar a renda total (Ren_{tot}).
Se não existirem registros sucessores voltar para o passo 2.

Passo 4 - Para cada configuração C_{n+1} pertencente aos registros sucessores, são feitas comparações com as configurações dos registros das listas aberta e fechada. Se C_{n+1} for eliminada por alguma configuração, retirar o seu registro da lista de sucessores, senão retirar das listas aberta ou fechada qualquer registro eliminado por C_{n+1} .
Introduzir na lista aberta os registros remanescentes da lista dos sucessores.

Passo 5 - Se o critério de parada for satisfeito, ir para o passo 6. Senão, retornar para o passo 2.

Passo 6 - Recuperar as estratégias que geraram cada uma das configurações do alvo armazenadas na lista fechada e listar os resultados.

- CONSIDERAÇÕES GERAIS

O algoritmo assim construído é o mais eficiente possível, sem informações adicionais e tem algumas propriedades:

- 1) Quando um registro R_n é fechado, Ren_{tot} é o custo de um caminho ótimo de C_0 a C_{n+1} .

- 2) Os registros são fechados por ordem crescente de custo, isto é, se R_n' é fechado depois de R_n , então $Ren_{ToT} \geq Ren_{ToT}$.

A propriedade (2) é imediata, pois os custos são positivos: quando R_n é fechado, seu custo é mínimo e todos os registros presentes na lista aberta, posteriormente, terão custo maior ou igual a Ren_{ToT} .

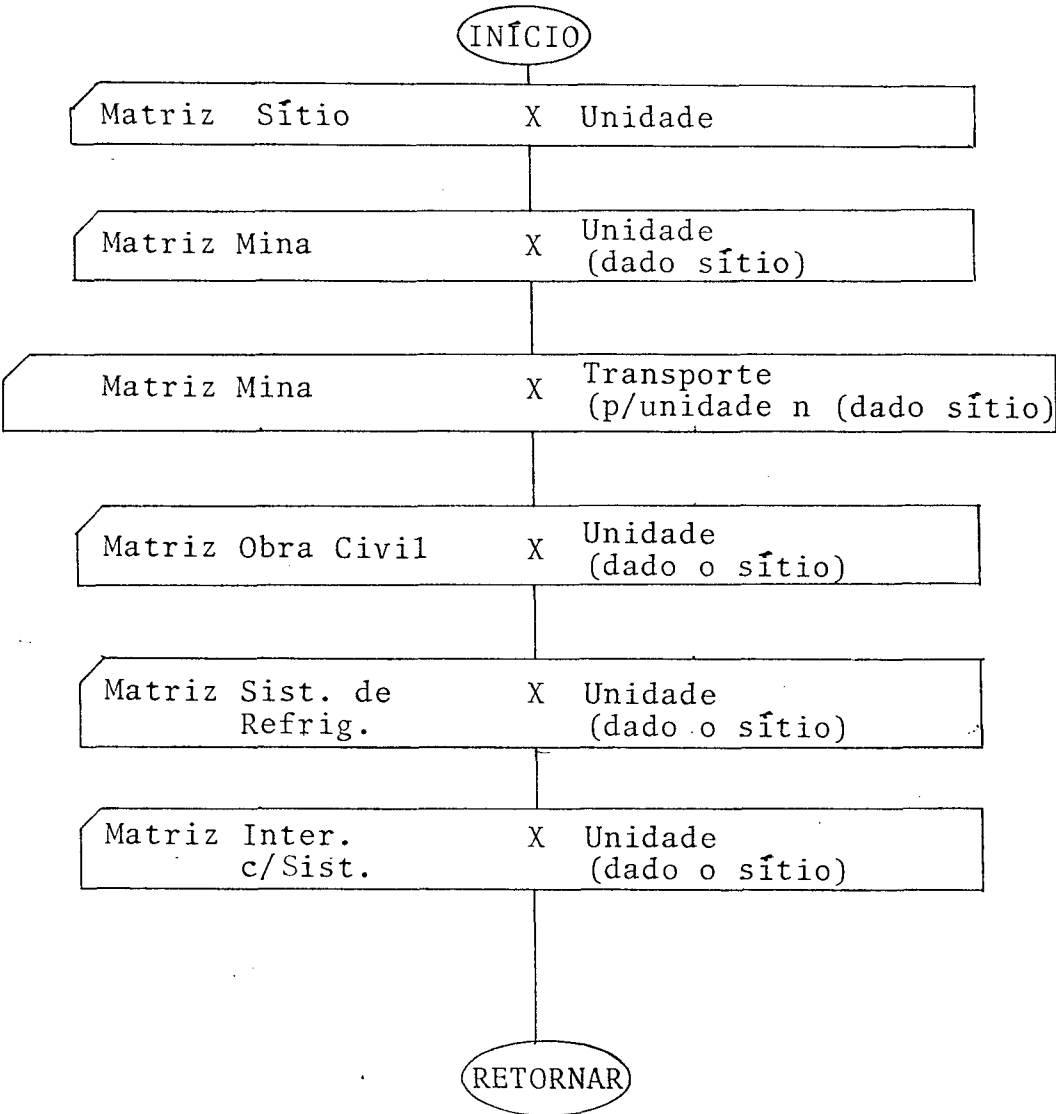
- 3) Regra de parada: O algoritmo de Dijkstra pára, quando for fechado um registro com uma configuração do alvo. De fato, qualquer caminho encontrado posteriormente, será mais caro.

APÊNDICE C

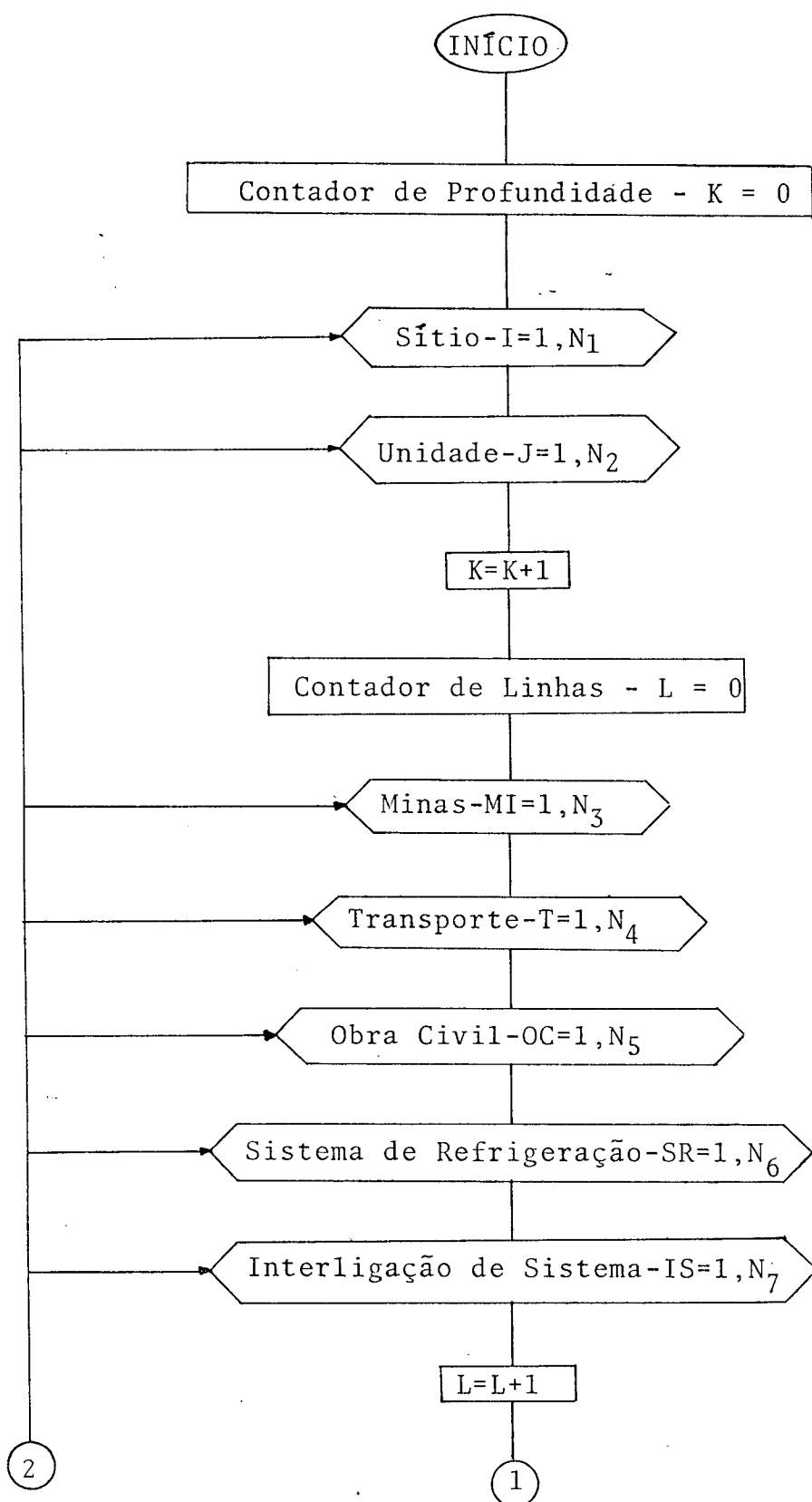
FLUXOGRAMAS

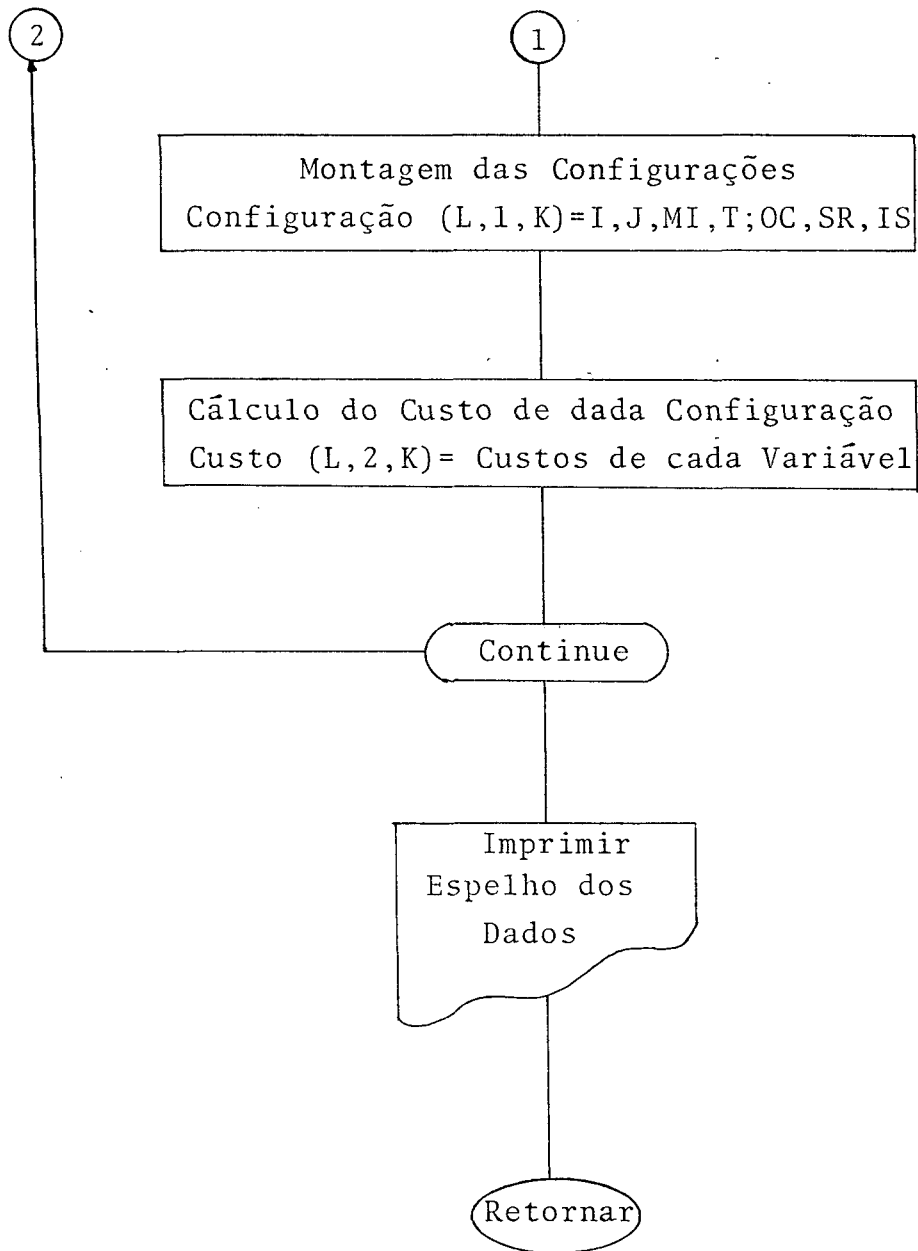
Neste Apêndice são apresentados, a título de ilustração, os fluxogramas das subrotinas descritas no item 4.4.2.

FLUXOGRAMA C.1 - SUBROTINA "ENTRMA"

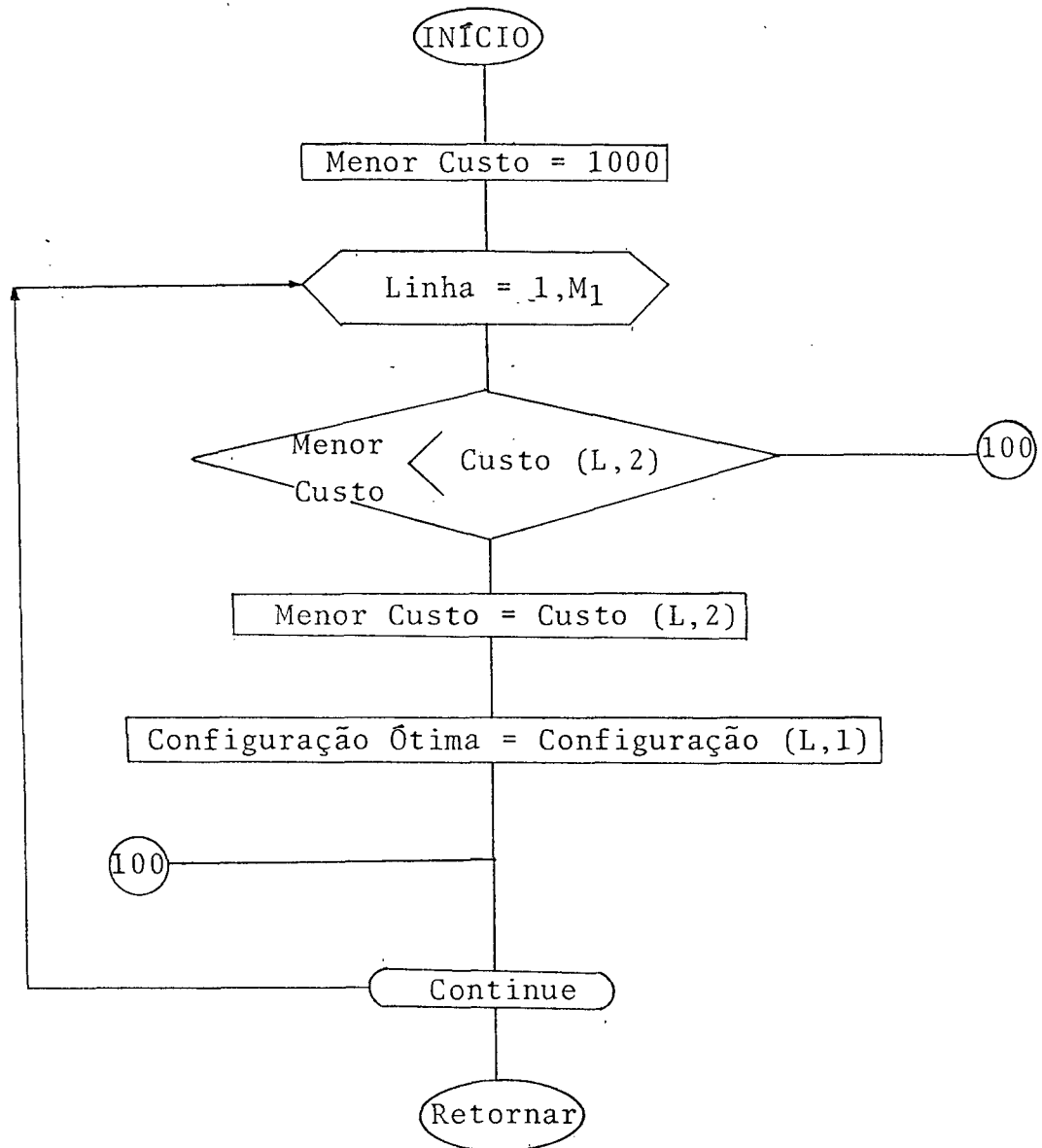


FLUXOGRAMA C.2 - SUBROTINA "GERCON"

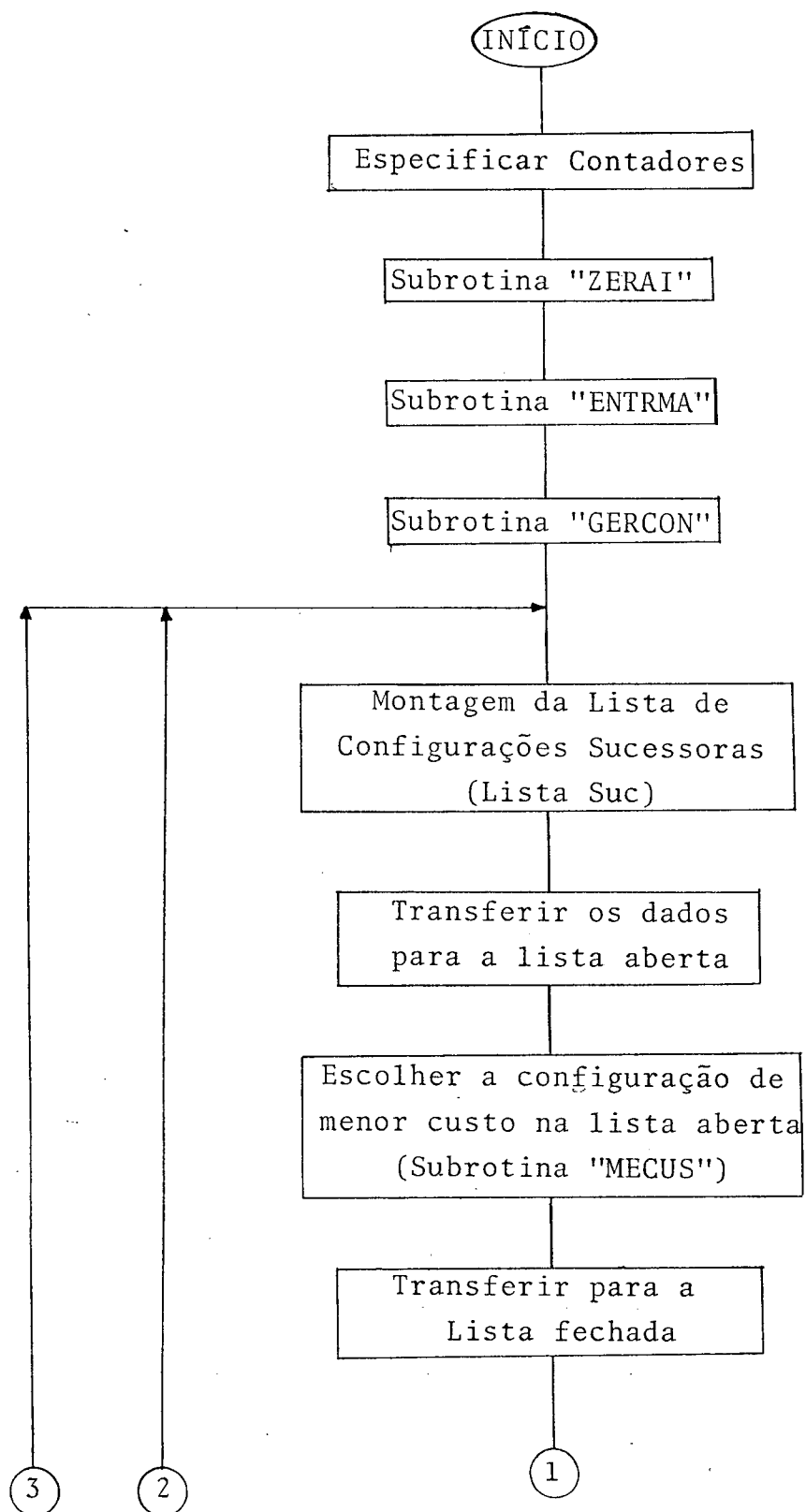


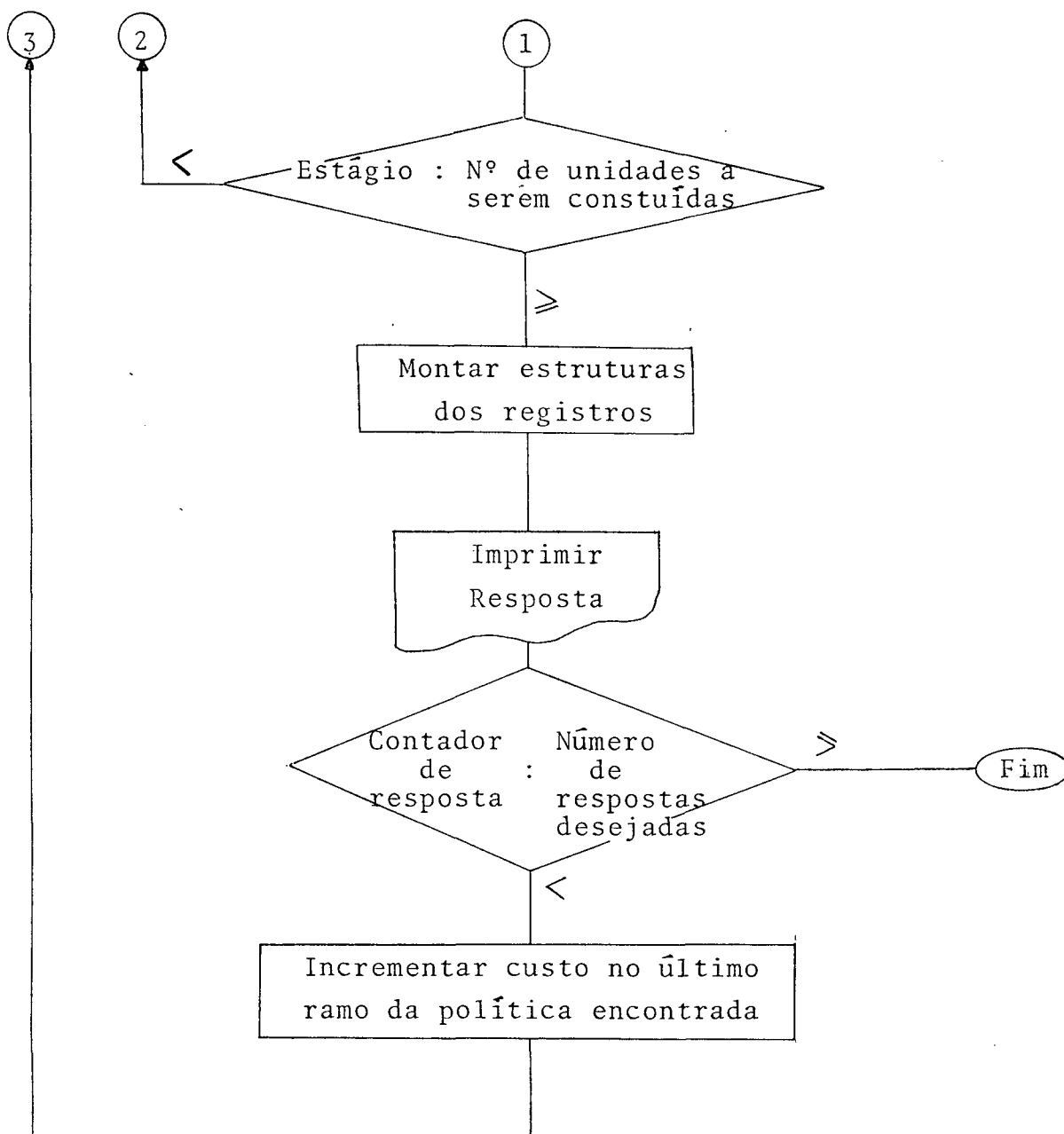


FLUXOGRAMA C.3 - SUBROTINA "MECUS"



FLUXOGRAMA C.4 - PROGRAMA PRINCIPAL





APÊNDICE D

CONFIGURAÇÕES E LISTAS ABERTA E FECHADA

Conforme descrito no item 5.3 são apresentadas na Tabela D.1, como ilustração, todas as possíveis configurações geradas, a partir das matrizes de entrada, pela subrotina "GERCON".

A Tabela D.2 apresenta as listas aberta e fechada, para a alternativa de trajetória ótima, geradas pelo programa principal.

Todas as tabelas são referentes ao exemplo do capítulo 5.

Tabela D.1

CONFIGURACAO	CUSTO	CONFIGURACAO	CUSTO	CONFIGURACAO	CUSTO
1111111	85	1211111	72	1311111	141
1111112	95	1211112	102	1311112	186
1111121	89	1211121	77	1311121	146
1111122	99	1211122	107	1311122	191
1111211	86	1211211	74	1311211	143
1111212	96	1211212	104	1311212	188
1111221	90	1211221	79	1311221	148
1111222	100	1211222	109	1311222	193
1112111	115	1212111	102	1312111	121
1112112	125	1212112	132	1312112	176
1112121	119	1212121	107	1312121	126
1112122	129	1212122	137	1312122	181
1112211	116	1212211	104	1312211	133
1112212	126	1212212	134	1312212	178
1112221	120	1212221	109	1312221	138
1112222	130	1212222	139	1312222	183
1121111	93	1221111	84	1321111	123
1121112	103	1221112	114	1321112	168
1121121	97	1221121	89	1321121	128
1121122	107	1221122	119	1321122	173
1121211	94	1221211	86	1321211	125
1121212	104	1221212	116	1321212	170
1121221	98	1221221	91	1321221	130
1121222	108	1221222	121	1321222	175
1122111	103	1222111	94	1322111	123
1122112	113	1222112	124	1322112	168
1122121	107	1222121	99	1322121	128
1122122	117	1222122	129	1322122	173
1122211	104	1222211	96	1322211	125
1122212	114	1222212	126	1322212	170
1122221	108	1222221	101	1322221	130
1122222	118	1222222	131	1322222	175

CONFIGURACAO	CUSTO	CDNF IGURACAO	CUSTO	CONF IGURACAO	CUSTO
2111111	86	2211111	58	2311111	41
2111112	86	2211112	63	2311112	51
2111121	87	2211121	58	2311121	41
2111122	87	2211122	63	2311122	51
2111211	87	2211211	60	2311211	44
2111212	87	2211212	65	2311212	54
2111221	88	2211221	60	2311221	44
2111222	88	2211222	65	2311222	54
2112111	96	2212111	68	2312111	51
2112112	96	2212112	73	2312112	61
2112121	97	2212121	68	2312121	51
2112122	97	2212122	73	2312122	61
2112211	97	2212211	70	2312211	54
2112212	97	2212212	75	2312212	64
2112221	98	2212221	70	2312221	54
2112222	98	2212222	75	2312222	64
2121111	87	2221111	66	2321111	57
2121112	87	2221112	71	2321112	67
2121121	88	2221121	66	2321121	57
2121122	88	2221122	71	2321122	67
2121211	88	2221211	68	2321211	60
2121212	88	2221212	73	2321212	70
2121221	89	2221221	68	2321221	60
2121222	89	2221222	73	2321222	70
2122111	97	2222111	76	2322111	57
2122112	97	2222112	81	2322112	67
2122121	98	2222121	76	2322121	57
2122122	98	2222122	81	2322122	67
2122211	98	2222211	78	2322211	60
2122212	98	2222212	83	2322212	70
2122221	99	2222221	78	2322221	60
2122222	99	2222222	83	2322222	70

CDNFIGURACAC	CUSTC	CONFIGURACAC	CUSTC	CONFIGURACAC	CUSTC
3111111	57	3211111	52	3311111	47
3111112	62	3211112	58	3311112	52
3111121	57	3211121	52	3311121	46
3111122	62	3211122	57	3311122	51
3111211	56	3211211	51	3311211	46
3111212	61	3211212	56	3311212	51
3111221	56	3211221	50	3311221	45
3111222	61	3211222	55	3311222	50
3112111	67	3212111	52	3312111	47
3112112	72	3212112	58	3312112	52
3112121	67	3212121	52	3312121	46
3112122	72	3212122	57	3312122	51
3112211	66	3212211	51	3312211	46
3112212	71	3212212	56	3312212	51
3112221	68	3212221	50	3312221	45
3112222	71	3212222	55	3312222	50
3121111	69	3221111	58	3321111	61
3121112	74	3221112	63	3321112	66
3121121	69	3221121	57	3321121	60
3121122	74	3221122	62	3321122	65
3121211	68	3221211	56	3321211	60
3121212	73	3221212	61	3321212	65
3121221	68	3221221	55	3321221	59
3121222	73	3221222	60	3321222	64
3122111	69	3222111	58	3322111	51
3122112	74	3222112	63	3322112	56
3122121	69	3222121	57	3322121	50
3122122	74	3222122	62	3322122	55
3122211	68	3222211	56	3322211	50
3122212	73	3222212	61	3322212	55
3122221	68	3222221	55	3322221	49
3122222	73	3222222	60	3322222	54

Tabela D.2 - LISTA ABERTA

CONFIG.ANT	RENDA	CONFIG.POST	K123
0	1085	1111111	1100
0	1086	2111112	1010
0	1056	3111221	1001
3111221	1141	1111111	2101
3111221	1142	2111112	2011
3111221	1106	3212221	2002
1111111	1157	1211111	2200
1111111	1171	2111112	2110
1111111	1141	3111221	2101
2111112	1171	1111111	2110
2111112	1144	2211121	2020
2111112	1142	3111221	2011
3212221	1191	1111111	3102
3212221	1192	2111112	3012
3212221	1151	3312221	3003
3111221	1213	1211111	3201
3111221	1227	2111112	3111
3111221	1191	3212221	3102
1111111	1213	1211111	3201
1111111	1227	2111112	3111
1111111	1191	3212221	3102
3111221	1227	1111111	3111
3111221	1200	2211121	3021
3111221	1192	3212221	3012
2111112	1227	1111111	3111
2111112	1200	2211121	3021
2111112	1192	3212221	3012
2211121	1229	1111111	3120
2211121	1185	2311121	3030
2211121	1200	3111221	3021
3312221	1236	1111111	4103
3312221	1237	2111112	4013
3312221	1151	0	4004
1211111	1280	1322111	3300
1211111	1243	2111112	3210
1211111	1213	3111221	3201
1111111	1243	1211111	3210
1111111	1229	2211121	3120
1111111	1227	3111221	3111
2111112	1243	1211111	3210
2111112	1229	2211121	3120
2111112	1227	3111221	3111
2311121	1270	1111111	4130
2311121	1185	0	4040
2311121	1241	3111221	4031
3212221	1263	1211111	4202

LISTA ABERIA

CONFIG.ANT	RENCA	CONFIG.POST	K123
3212221	1277	2111112	4112
3212221	1236	3312221	4103
3212221	1263	1211111	4202
3212221	1277	2111112	4112
3212221	1236	3312221	4103
1111111	1262	1211111	4202
1111111	1277	2111112	4112
1111111	1236	3312221	4103
3212221	1277	1111111	4112
3212221	1250	2211121	4022
3212221	1237	3312221	4013
3212221	1277	1111111	4112
3212221	1250	2211121	4022
3212221	1237	3312221	4013
2111112	1277	1111111	4112
2111112	1250	2211121	4022
2111112	1237	3312221	4013
3111221	1285	1111111	4121
3111221	1241	2311121	4031
3111221	1250	3212221	4022
2211121	1285	1111111	4121
2211121	1241	2311121	4031
2211121	1250	3212221	4022
2211121	1285	1111111	4121
2211121	1241	2311121	4031
2211121	1250	3212221	4022
3111221	236	1322111	4301
3111221	1299	2111112	4211
3111221	1263	3212221	4202
1211111	236	1322111	4301
1211111	1299	2111112	4211
1211111	1263	3212221	4202
1211111	236	1322111	4301
1211111	1299	2111112	4211
1211111	1263	3212221	4202
3111221	1299	1211111	4211
3111221	1285	2211121	4121
3111221	1277	3212221	4112
3111221	1299	1211111	4211
3111221	1285	2211121	4121
3111221	1277	3212221	4112
1111111	1299	1211111	4211
1111111	1285	2211121	4121
1111111	1277	3212221	4112
1111111	1299	1211111	4211
1111111	1285	2211121	4121

LISTA ABERIA

CONFIG.ANT	RENDA	CONFIG.POST	K123
1111111	1277	3212221	4112
2111112	1299	1211111	4211
2111112	1285	2211121	4121
2111112	1277	3212221	4112
2111112	1299	1211111	4211
2111112	1285	2211121	4121
2111112	1277	3212221	4112
2211121	1301	1211111	4220
2211121	1270	2311121	4130
2211121	1285	3111221	4121
2211121	1301	1211111	4220
2211121	1270	2311121	4130
2211121	1285	3111221	4121
1111111	1301	1211111	4220
1111111	1270	2311121	4130
1111111	1285	3111221	4121
3312221	1308	1211111	5203
3312221	1322	2111112	5113
3312221	1236	0	5104
3312221	1308	1211111	5203
3312221	1322	2111112	5113
3312221	1236	0	5104
3312221	1308	1211111	5203
3312221	1322	2111112	5113
3312221	1236	0	5104
1111111	1308	1211111	5203
1111111	1322	2111112	5113
1111111	1236	0	5104
3312221	1322	1111111	5113
3312221	1295	2211121	5023
3312221	1237	0	5014
3312221	1322	1111111	5113
3312221	1295	2211121	5023
3312221	1237	0	5014
3312221	1322	1111111	5113
3312221	1295	2211121	5023
3312221	1237	0	5014
2111112	1322	1111111	5113
2111112	1295	2211121	5023
2111112	1237	0	5014
2311121	1326	1111111	5131
2311121	1241	0	5041
2311121	1291	3212221	5032
2311121	1326	1111111	5131
2311121	1241	0	5041
2311121	1291	3212221	5032

LISTA ABERIA

CONFIG.ANT	RENDA	CONFIG.POST	K123
2311121	1226	1111111	5131
2311121	1241	0	5041
2311121	1291	3212221	5032
3111221	1326	1111111	5131
3111221	1241	0	5041
3111221	1291	3212221	5032
1211111	266	1322111	4310
1211111	1201	2211121	4220
1211111	1299	3111221	4211
1211111	266	1322111	4310
1211111	1201	2211121	4220
1211111	1299	3111221	4211
2111112	266	1322111	4310
2111112	1201	2211121	4220
2111112	1299	3111221	4211
3212221	1225	1111111	5122
3212221	1291	2311121	5032
3212221	1295	3312221	5023
3212221	1225	1111111	5122
3212221	1291	2311121	5032
3212221	1295	3312221	5023
3212221	1225	1111111	5122
3212221	1291	2311121	5032
3212221	1295	3312221	5023
2211121	1225	1111111	5122
2211121	1291	2311121	5032
2211121	1295	3312221	5023
2211121	1225	1111111	5122
2211121	1291	2311121	5032
2211121	1295	3312221	5023
2211121	1225	1111111	5122
2211121	1291	2311121	5032
2211121	1295	3312221	5023
3212221	286	1322111	5302
3212221	249	2111112	5212
3212221	1208	3312221	5203
3212221	286	1322111	5302
3212221	249	2111112	5212
3212221	1208	3312221	5203
3212221	286	1322111	5302
3212221	249	2111112	5212
3212221	1208	3312221	5203
1211111	286	1322111	5302
1211111	249	2111112	5212
1211111	1208	3312221	5203
1211111	286	1322111	5302

LISTA ABERIA

CONFIG.ANT	RENDA	CONFIG.POST	K123
12111111	349	21111112	5212
12111111	1308	3312221	5203
12111111	386	1322111	5302
12111111	349	21111112	5212
12111111	1308	3312221	5203
23111121	342	12111111	5230
23111121	1270	0	5140
23111121	1326	3111221	5131
23111121	342	12111111	5230
23111121	1270	0	5140
23111121	1326	3111221	5131
23111121	342	12111111	5230
23111121	1270	0	5140
23111121	1326	3111221	5131
11111111	342	12111111	5230
11111111	1270	0	5140
11111111	1326	3111221	5131
3212221	349	12111111	5212
3212221	1335	2211121	5122
3212221	1322	3312221	5113
3212221	349	12111111	5212
3212221	1335	2211121	5122
3212221	1322	3312221	5113
3212221	349	12111111	5212
3212221	1335	2211121	5122
3212221	1322	3312221	5113
3212221	349	12111111	5212
3212221	1335	2211121	5122
3212221	1322	3312221	5113
3212221	349	12111111	5212
3212221	1335	2211121	5122
3212221	1322	3312221	5113
3212221	349	12111111	5212
3212221	1335	2211121	5122
3212221	1322	3312221	5113
11111111	349	12111111	5212
11111111	1335	2211121	5122
11111111	1322	3312221	5113
11111111	349	12111111	5212
11111111	1335	2211121	5122
11111111	1322	3312221	5113
11111111	349	12111111	5212
11111111	1335	2211121	5122
11111111	1322	3312221	5113
21111112	349	12111111	5212
21111112	1335	2211121	5122

LISTA ABERIA

CONFIG.ANT	RENDA	CONFIG.POST	K123
2111112	349	3212221	5212
2111112	422	1322111	5311
2111112	357	2211121	5221
2111112	349	3212221	5212
2211121	424	1322111	5320
2211121	342	2311121	5230
2211121	357	3111221	5221
2211121	424	1322111	5320
2211121	342	2311121	5230
2211121	357	3111221	5221
2211121	424	1322111	5320
2211121	342	2311121	5230
2211121	357	3111221	5221
1211111	424	1322111	5320
1211111	342	2311121	5230
1211111	357	3111221	5221
1211111	424	1322111	5320
1211111	342	2311121	5230
1211111	357	3111221	5221
1211111	424	1322111	5320
1211111	342	2311121	5230
1211111	357	3111221	5221
1211111	424	1322111	5320
1211111	342	2311121	5230
1211111	357	3111221	5221
3312221	431	1322111	6303
3312221	394	2111112	6213
3312221	1308	0	6204
3312221	431	1322111	6303
3312221	394	2111112	6213
3312221	1308	0	6204
3312221	431	1322111	6303
3312221	394	2111112	6213
3312221	1308	0	6204
3312221	431	1322111	6303
3312221	394	2111112	6213
3312221	1308	0	6204
3312221	431	1322111	6303
3312221	394	2111112	6213
3312221	1308	0	6204
3312221	431	1322111	6303
3312221	394	2111112	6213
3312221	1308	0	6204
1211111	431	1322111	6303
1211111	394	2111112	6213
1211111	1308	0	6204
1211111	431	1322111	6303
1211111	394	2111112	6213
1211111	1308	0	6204

LISTA ABERIA

CONFIG.ANT	RENDA	CONFIG.POST	K123
12111111	431	13221111	6303
12111111	294	21111112	6213
12111111	1308	0	6204
12111111	431	13221111	6303
12111111	294	21111112	6213
12111111	1308	0	6204
3312221	294	12111111	6213
3312221	280	22111121	6123
3312221	1322	0	6114
3312221	294	12111111	6213
3312221	280	22111121	6123
3312221	1322	0	6114
3312221	294	12111111	6213
3312221	280	22111121	6123
3312221	1322	0	6114
3312221	294	12111111	6213
3312221	280	22111121	6123
3312221	1322	0	6114
3312221	294	12111111	6213
3312221	280	22111121	6123
3312221	1322	0	6114
3312221	294	12111111	6213
3312221	280	22111121	6123
3312221	1322	0	6114
3312221	294	12111111	6213
3312221	280	22111121	6123
3312221	1322	0	6114
3312221	294	12111111	6213
3312221	280	22111121	6123
3312221	1322	0	6114
3312221	294	12111111	6213
3312221	280	22111121	6123
3312221	1322	0	6114
3312221	294	12111111	6213
3312221	280	22111121	6123
3312221	1322	0	6114
3312221	294	12111111	6213
3312221	280	22111121	6123
3312221	1322	0	6114
3312221	294	12111111	6213
3312221	280	22111121	6123
3312221	1322	0	6114
11111111	294	12111111	6213
11111111	280	22111121	6123
11111111	1322	0	6114
11111111	294	12111111	6213

LISTA ABERTA

[illegible]

LISTA FECHADA

CONFIG.ANT	RENIA	CONFIG.POST	K123
0	85	1111111	1100
0	84	2111112	1010
0	56	3111221	1001
3111221	141	1111111	2101
3111221	142	2111112	2011
3111221	106	3212221	2002
1111111	157	1211111	2200
1111111	171	2111112	2110
1111111	141	3111221	2101
2111112	171	1111111	2110
2111112	144	2211121	2020
2111112	142	3111221	2011
3212221	191	1111111	3102
3212221	192	2111112	3012
3212221	151	3312221	3003
3111221	212	1211111	3201
3111221	227	2111112	3111
3111221	191	3212221	3102
1111111	212	1211111	3201
1111111	227	2111112	3111
1111111	191	3212221	3102
3111221	227	1111111	3111
3111221	200	2211121	3021
3111221	192	3212221	3012
2111112	227	1111111	3111
2111112	200	2211121	3021
2111112	192	3212221	3012
2211121	229	1111111	3120
2211121	185	2311121	3030
2211121	200	3111221	3021
3312221	236	1111111	4103
3312221	237	2111112	4013
0	0	0	0
1211111	280	1322111	3300
1211111	243	2111112	3210
1211111	212	3111221	3201
1111111	243	1211111	2210
1111111	229	2211121	2120
1111111	227	3111221	3111
2111112	243	1211111	2210
2111112	229	2211121	3120
2111112	227	3111221	3111
2311121	270	1111111	4130
0	0	0	0
2311121	241	3111221	4031
3212221	262	1211111	4202

LISTA FECHADA

CONFIG. ANT	RENDA	CONFIG. POST	K123
3212221	277	2111112	4112
3212221	236	3312221	4103
3212221	263	1211111	4202
3212221	277	2111112	4112
3212221	236	3312221	4103
1111111	263	1211111	4202
1111111	277	2111112	4112
1111111	236	3312221	4103
3212221	277	1111111	4112
3212221	250	2211121	4022
3212221	237	3312221	4013
3212221	277	1111111	4112
3212221	250	2211121	4022
3212221	237	3312221	4013
2111112	277	1111111	4112
2111112	250	2211121	4022
2111112	237	3312221	4013
3111221	285	1111111	4121
3111221	241	2311121	4031
3111221	250	3212221	4022
2211121	285	1111111	4121
2211121	241	2311121	4031
2211121	250	3212221	4022
2211121	285	1111111	4121
2211121	241	2311121	4031
2211121	250	3212221	4022
0	0	0	0
3111221	299	2111112	4211
3111221	263	3212221	4202
0	0	0	0
1211111	299	2111112	4211
1211111	263	3212221	4202
0	0	0	0
1211111	299	2111112	4211
1211111	263	3212221	4202
3111221	299	1211111	4211
3111221	285	2211121	4121
3111221	277	3212221	4112
3111221	299	1211111	4211
3111221	285	2211121	4121
3111221	277	3212221	4112
1111111	299	1211111	4211
1111111	285	2211121	4121
1111111	277	3212221	4112
1111111	299	1211111	4211
1111111	285	2211121	4121

LISTA FECHADA

CONFIG.ANT	RENDA	CONFIG.POST	K123
1111111	277	3212221	4112
2111112	299	1211111	4211
2111112	285	2211121	4121
2111112	277	3212221	4112
2111112	299	1211111	4211
2111112	285	2211121	4121
2111112	277	3212221	4112
2211121	301	1211111	4220
2211121	270	2311121	4130
2211121	285	3111221	4121
2211121	301	1211111	4220
2211121	270	2311121	4130
2211121	285	3111221	4121
1111111	301	1211111	4220
1111111	270	2311121	4130
1111111	285	3111221	4121
3312221	308	1211111	5203
3312221	222	2111112	5113
0	0	0	0
3312221	308	1211111	5203
3312221	222	2111112	5113
0	0	0	0
3312221	308	1211111	5203
3312221	222	2111112	5113
0	0	0	0
1111111	308	1211111	5203
1111111	222	2111112	5113
0	0	0	0
3312221	222	1111111	5113
3312221	295	2211121	5023
0	0	0	0
3312221	222	1111111	5113
3312221	295	2211121	5023
0	0	0	0
3312221	222	1111111	5113
3312221	295	2211121	5023
0	0	0	0
2111112	222	1111111	5113
2111112	295	2211121	5023
0	0	0	0
2311121	226	1111111	5131
0	0	0	0
2311121	291	3212221	5032
2311121	226	1111111	5131
0	0	0	0
2311121	291	3212221	5032

LISTA FECHADA

CONFIG.ANT	RENDA	CONFIG.POST	K123
2311121	326	1111111	5131
0	0	0	0
2311121	291	3212221	5032
3111221	326	1111111	5131
0	0	0	0
3111221	291	3212221	5032
0	0	0	0
1211111	301	2211121	4220
1211111	299	3111221	4211
0	0	0	0
1211111	301	2211121	4220
1211111	299	3111221	4211
0	0	0	0
2111112	301	2211121	4220
2111112	299	3111221	4211
3212221	335	1111111	5122
3212221	291	2311121	5032
3212221	295	3312221	5023
3212221	335	1111111	5122
3212221	291	2311121	5032
3212221	295	3312221	5023
3212221	335	1111111	5122
3212221	291	2311121	5032
3212221	295	3312221	5023
2211121	335	1111111	5122
2211121	291	2311121	5032
2211121	295	3312221	5023
2211121	335	1111111	5122
2211121	291	2311121	5032
2211121	295	3312221	5023
2211121	335	1111111	5122
2211121	291	2311121	5032
2211121	295	3312221	5023
0	0	0	0
0	0	0	0
3212221	308	3312221	5203
0	0	0	0
0	0	0	0
3212221	308	3312221	5203
0	0	0	0
0	0	0	0
3212221	308	3312221	5203
0	0	0	0
0	0	0	0
1211111	308	3312221	5203
0	0	0	0

LISTA FECHADA

CONFIG.ANT	RENDA	CONFIG.POST	K123
0	0	0	0
1211111	308	3312221	5203
0	0	0	0
0	0	0	0
1211111	308	3312221	5203
0	0	0	0
0	0	0	0
2311121	326	3111221	5131
0	0	0	0
0	0	0	0
2311121	326	3111221	5131
0	0	0	0
0	0	0	0
2311121	326	3111221	5131
0	0	0	0
0	0	0	0
1111111	326	3111221	5131
0	0	0	0
3212221	335	2211121	5122
3212221	322	3312221	5113
0	0	0	0
3212221	335	2211121	5122
3212221	322	3312221	5113
0	0	0	0
3212221	335	2211121	5122
3212221	322	3312221	5113
0	0	0	0
3212221	335	2211121	5122
3212221	322	3312221	5113
0	0	0	0
3212221	335	2211121	5122
3212221	322	3312221	5113
0	0	0	0
3212221	335	2211121	5122
3212221	322	3312221	5113
0	0	0	0
1111111	335	2211121	5122
1111111	322	3312221	5113
0	0	0	0
1111111	335	2211121	5122
1111111	322	3312221	5113
0	0	0	0
1111111	335	2211121	5122
1111111	322	3312221	5113
0	0	0	0
2111112	335	2211121	5122

LISTA FECHADA

CONFIG.ANT	RENDA	CONFIG.POST	K122
2111112	222	3312221	5113
0	0	0	0
2111112	235	2211121	5122
2111112	222	3312221	5113
0	0	0	0
2111112	235	2211121	5122
2111112	222	3312221	5113
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
3111221	226	2311121	5131
3111221	235	3212221	5122
0	0	0	0
3111221	226	2311121	5131
3111221	235	3212221	5122
0	0	0	0
3111221	226	2311121	5131
3111221	235	3212221	5122
0	0	0	0
2211121	226	2311121	5131
2211121	235	3212221	5122
0	0	0	0
2211121	226	2311121	5131
2211121	235	3212221	5122
0	0	0	0
2211121	226	2311121	5131
2211121	235	3212221	5122
0	0	0	0
2211121	226	2311121	5131
2211121	235	3212221	5122
0	0	0	0
2211121	226	2311121	5131
2211121	235	3212221	5122
0	0	0	0
1111111	226	2311121	5131
1111111	235	3212221	5122
0	0	0	0
1111111	226	2311121	5131
1111111	235	3212221	5122
0	0	0	0
1111111	226	2311121	5131
1111111	235	3212221	5122

REFERÊNCIAS

- 1 CHAVES, A.P. e SADDY, M. - "A Tecnologia de Utilização do Carvão Nacional", palestra proferida no Instituto de Engenharia de São Paulo.
- 2 COLÔ, A. HOLTZ; A.C.T. e ALBURQUERQUE, J.C. - "Principais Fontes para Geração de Energia Elétrica no Brasil"; Rio de Janeiro, 1978.
- 3 COLÔ, A.; CARVALHO, M.A.P. e PIMENTEL, R. - "Metodologia para Planejamento da Expansão do Parque Gerador do Sistema Elétrico Brasileiro", Rio de Janeiro, 1978.
- 4 SERRA, C.P. - "Análise do Balanço Energético Nacional - 1980".
- 5 SKROTZKI, BERNHARDT AND VOPAT, WILLIAN - "Power Station Engineering and Economy", McGraw-Hill Book Company, Second Edition of Applied Energy Conversion, 1960.
- 6 WILLENBROCK, JACK AND THOMAS, H., RANDOLPH - "Planning Engineering and Construction of Electric Power Generation Facilities", Wiley-Interscience Publication, 1980.
- 7 CENTRAL ELECTRICITY GENERATING BOARD - "Modern Power Station Practice", Second Revised and Enlarged Edition, volumes 1 e 3, 1971.
- 8 NILSSON, N.J. - "Problem Solving Methods in Artificial Intelligence", McGraw-Hill, 1971.
- 9 GAFFERT, G.A. - "Centrais de Vapor", Editorial Reverté S.A., 1ª. Edição, 1954.
- 10 MANNERS, GERALD - "Geografia da Energia", Zahar Editores, 1ª Edição, 1967.

- 11 EVANS, G.W.; MORIN, T.L. AND MOSKOWITZ, H. - "Multiobjective Energy Generation Planning Under Uncertainty", IIE Transactions, Vol. 14, nº 3, 183-192, September/1982.
- 12 BENNEDSEN, M.B. AND KIRKWOOD, C.W. - "Selecting Sites for Coal-Fired Power Plants", Journal of the Energy. Division, ASCE, 69-78, June, 1982.
- 13 CAVANAUGH, H.A. - "Using Decision Analysis in Plant Siting", Electrical World, 33-36, May 15, 1979.
- 14 HOBBS, B.F. - "Multiobjective Power Plant Siting Methods", Journal of the Energy Division, 187-200, October, 1980.
- 15 AGAWA, TOSHIO - "Sites Planning of Thermal Power Plants", Technocrat, Vol.12, nº 3, 32-44, March, 1979.
- 16 COLÔ, ANTONIO; VENTURA, ALTINO e RIBEIRO, ARNALDO - "Localização de Centrais Térmicas", V Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Recife, 1979.
- 17 COODY, M.P. DE e SEARA, CARLOS A.R. - "O Impacto Ambiental da Ação do Homem sobre a Natureza", Outubro 1978.
- 18 COLVARA, L.D. - "Planejamento do Sistema de Transmissão de Energia Elétrica com Aplicação de Critério de Estabilidade Transitória de Liapunov", Tese de Mestrado, UFSC, Florianópolis, Março/1981.
- 19 CRUZ, C.R.G. - "Expansão Ótima da Capacidade de Transformação de Subestações", Tese de Mestrado, COPPE, Rio de Janeiro, Janeiro/82.
- 20 FERNANDES, J. - "A Crise do Petróleo e o Planejamento Energético", Trabalho da Cadeira de Planejamento Energético, P.G. Engenharia Industrial, UFSC, 1982.

- 21 MATCHETT, D.L. e KITCHELL, R.P. - "Power Plant Siting: Economic Screening Techniques", Journal of the Energy Division, 277-289, August, 1979.
- 22 "Usina Termelétrica 4 x 450 MW", Relatório Preliminar, ELECTROCONSULT DO BRASIL LTDA., São Paulo